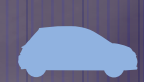


Inventario Nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de Gases de Efecto Invernadero **Costa Rica, 1990-2017**



Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

Inventario Nacional de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de Gases de Efecto Invernadero Costa Rica, 1990-2017



- © Ministerio del Ambiente y Energía
- © Instituto Meteorológico Nacional
Departamento de Desarrollo
San José, Costa Rica
Teléfono (506) 2222-5616
www.imn.ac.cr | <http://cglobal.imn.ac.cr/>
- © Costa Rica 2021: Inventario Nacional de gases de efecto invernadero y absorción de carbono 1990-2017. Primera Edición.

Contacto

Este informe fue elaborado en el Departamento de Desarrollo del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, forma parte además del proyecto: Cuarta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Nombre de contacto: Ana Rita Chacón Araya
Responsabilidades en el INGEI: Coordinadora
Organización: Instituto Meteorológico Nacional
Email: archacon@imn.ac.cr

Autores principales

Manejo del informe y edición: Kendal Blanco Salas, ingei@minae.go.cr

Capítulo 1: Ana Rita Chacón Araya, Kendal Blanco Salas

Capítulo 2: Kendal Blanco Salas

Capítulo 3: Kendal Blanco Salas

Capítulo 4: Kendal Blanco Salas

Capítulo 5: Johnny Montenegro Ballester, jmontenegro@imn.ac.cr

Capítulo 6: Roberto Rodríguez Sánchez, ingei@minae.go.cr

Capítulo 7: Kendal Blanco Salas

Capítulo 8: Kendal Blanco Salas

Diseño y diagramación: Rodrigo Granados Jiménez

De conformidad con la Ley Número 6683 de Derechos de Autor y Derechos Conexos, es prohibida la reproducción de este libro en cualquier forma o medio, electrónico o mecánico incluyendo el fotocopiado, grabadoras sonoras y otros, sin permiso escrito del editor.

Pág.	Contenido	Pág.
29	<i>Lista de abreviaciones</i>	
30	<i>Unidades y medidas requeridas para la comprensión adecuada de este documento</i>	
31	<i>Resumen</i>	
	1.1. INFORMACIÓN DE BASE SOBRE LOS INVENTARIOS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	31
	1.2. RESUMEN DE LAS EMISIONES DEL 2017	32
33	1. INTRODUCCIÓN	
	1.1. ANTECEDENTES SOBRE INVENTARIOS NACIONALES DE GEI Y CAMBIO CLIMÁTICO	33
	1.2. ARREGLOS INSTITUCIONALES EN LA PREPARACIÓN DEL INGEI DE COSTA RICA	34
	1.3. PROCESO DE PREPARACIÓN DEL INGEI DE COSTA RICA	34
	1.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN UTILIZADAS	36
	1.4.1. Descripción de la metodología	36
	1.4.2. Principales fuentes de datos	36
	1.5. ANÁLISIS DE CATEGORÍAS CLAVE	39
	1.6. CONTROL Y GARANTÍA DE LA CALIDAD	39
	1.7. ARCHIVO	41
	1.8. ESTIMACIÓN GENERAL DE LA INCERTIDUMBRE	41
	1.9. EVALUACIÓN GENERAL DE LA EXHAUSTIVIDAD	43
45	2. TENDENCIA DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE GEI DE COSTA RICA	
	2.1. EMISIONES AGREGADAS E INDICADORES DEL AÑO 2017	45
	2.1.1. Emisiones agregadas del año 2017	45
	2.1.2. Indicadores asociados a las emisiones	46
	2.2. TENDENCIA DE LAS EMISIONES DE GEI DE COSTA RICA POR GAS PARA EL PERÍODO 1990-2017	47
	2.3. TENDENCIA DE LAS EMISIONES DE GEI DE COSTA RICA POR SECTOR PARA EL PERÍODO 1990-2017	50
	2.4. TENDENCIA DE LAS EMISIONES DE OTROS GASES PRECURSORES Y CARBONO NEGRO DE COSTA RICA	51

55 3. SECTOR ENERGÍA

3.1. PANORAMA DEL SECTOR	55
3.1.1. Introducción	55
3.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector	55
3.2. ACTIVIDADES DE LA QUEMA DE COMBUSTIBLES (1.A)	58
3.2.1. Descripción de la categoría	58
3.2.2. Verificación del enfoque sectorial	59
3.2.3. Depósitos internacionales de combustibles	61
3.2.4. Industrias de la energía (1.A.1)	68
3.2.5. Industrias Manufactureras y de la construcción (1.A.2)	83
3.2.6. Transporte (1.A.3)	91
3.2.7. Otros sectores (1.A.4)	100
3.3. EMISIONES FUGITIVAS DE COMBUSTIBLES (1.B)	106
3.3.1. Petróleo (1.B.2a)	106
3.3.2. Otras emisiones provenientes de la producción de energía (1.B.3)	109
3.4. GENERALIDADES DEL SECTOR	114
3.4.1. Emisiones de CO ₂ biogénico	114
3.4.2. Incertidumbre del sector	116
3.4.3. Recálculos para el sector	118
3.4.4. Plan de mejora para el sector	119
3.4.5. Emisiones de otros gases	119

121 4. SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS

4.1. PANORAMA DEL SECTOR	121
4.1.1. Introducción	121
4.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector	122
4.2. INDUSTRIA DE LOS MINERALES (2.A)	124
4.2.1. Producción de cemento (2.A.1)	125
4.2.2. Producción de cal (2.A.2)	132
4.2.3. Producción de vidrio (2.A.3)	136
4.2.4. Otros Usos de carbonatos en los procesos: Carbonato de sodio (2.A.4b)	141
4.3. INDUSTRIA QUÍMICA (2.B)	144
4.3.1. Producción de ácido nítrico (2.B.2)	144
4.3.2. Producción de carburo y su uso para producción de acetileno (2.B.5)	146
4.4. USO DE PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS DE COMBUSTIBLES Y DE SOLVENTE (2.D)	149
4.4.1. Uso de lubricantes (2.D.1)	149
4.4.2. Uso de ceras de parafina (2.D.2)	153
4.5. USO DE PRODUCTOS SUSTITUTOS DE LAS SUSTANCIAS QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO (2.F)	156
4.5.1. Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1)	157
4.5.2. Protección contra incendios (2.F.3)	164

4.5.3. Aerosoles (2.F.4)	167
4.5.4. Otras aplicaciones: Procesos de transferencia de flúor a vidrio (2.F.6)	169
4.6. MANUFACTURA Y USO DE OTROS PRODUCTOS (2.G)	171
4.6.1. Uso de SF6 en equipos eléctricos (2.G.1b)	171
4.7. INCERTIDUMBRE DEL SECTOR	174
4.8. RECÁLCULOS DEL SECTOR	174
4.9. PLAN DE MEJORA DEL SECTOR	176
4.10. EMISIONES DE OTROS GASES PRECURSORES	176

177 5. SECTOR AGRICULTURA

5.1. PANORAMA DEL SECTOR	177
5.1.1. Introducción	177
5.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector	177
5.2. FERMENTACIÓN ENTÉRICA (3.A.1)	180
5.2.1. Descripción de la categoría	180
5.2.2. Metodología	181
5.2.3. Incertidumbre y coherencia temporal	183
5.2.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	184
5.2.5. Recálculos	184
5.2.6. Plan de mejora	185
5.3. GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL (3.A.2)	185
5.3.1. Descripción de la categoría	185
5.3.2. Metodología	188
5.3.3. Incertidumbre y coherencia temporal	191
5.3.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	192
5.3.5. Recálculos	193
5.3.6. Plan de mejora	194
5.4. EMISIONES DE GEI POR LA QUEMA DE BIOMASA (3.C.1B Y 3.C.1C)	194
5.4.1. Descripción de la categoría	194
5.4.2. Metodología	196
5.4.3. Incertidumbre y coherencia temporal	197
5.4.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	199
5.4.5. Recálculos	199
5.4.6. Plan de mejora	201
5.5. EMISIONES DE CO2 POR ENCALADO (3.C.2)	201
5.5.1. Descripción de la categoría	201
5.5.2. Metodología	202
5.5.3. Incertidumbre y coherencia temporal	202
5.5.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	203
5.5.5. Recálculos	203
5.5.6. Plan de mejora	204

5.6. EMISIONES DIRECTAS DE N2O EN LOS SUELOS GESTIONADOS (3.C.4)	204
5.6.1. Descripción de la categoría	204
5.6.2. Metodología	206
5.6.3. Incertidumbre y coherencia temporal	207
5.6.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	209
5.6.5. Recálculos	209
5.6.6. Plan de mejora	209
5.7. CULTIVO DE ARROZ (3.C.7)	210
5.7.1. Descripción de la categoría	210
5.7.2. Metodología	211
5.7.3. Incertidumbre y coherencia temporal	211
5.7.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	212
5.7.5. Recálculos	212
5.7.6. Plan de mejora	213
5.8. INCERTIDUMBRE DEL SECTOR	213
5.9. RECÁLCULOS DEL SECTOR	215
5.10. PLAN DE MEJORA DEL SECTOR	215
5.11. EMISIONES DE OTROS GASES PRECURSORES	215

217 6. SECTOR SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA

6.1. PANORAMA DEL SECTOR	217
6.1.1. Introducción	217
6.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector	218
6.1.3. Aspectos metodológicos del sector	220
6.2. DEFINICIONES DE USO DE LA TIERRA Y LOS SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN UTILIZADOS	220
6.2.1. Tierras forestales	220
6.2.2. Tierras de cultivo	220
6.2.3. Pastizales	221
6.2.4. Humedales	223
6.2.5. Asentamientos	223
6.2.6. Otras tierras	223
6.3. MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA REPRESENTACIÓN DE LAS TIERRAS	223
6.4. TIERRAS FORESTALES (3.B.1)	224
6.4.1. Descripción de la categoría	224
6.4.2. Tendencia de las emisiones	225
6.4.3. Metodología	232
6.4.4. Incertidumbre y coherencia temporal	237
6.4.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	238
6.4.6. Recálculos	239
6.4.7. Plan de mejora	240

6.5. TIERRAS DE CULTIVO (3.B.2)	240
6.5.1. Descripción de la categoría	240
6.5.2. Tendencia de las emisiones	241
6.5.3. Metodología	245
6.5.4. Incertidumbre y coherencia temporal	246
6.5.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	247
6.5.6. Recálculos	247
6.5.7. Plan de mejora	247
6.6. PASTIZALES (3.B.3)	248
6.6.1. Descripción de la categoría	248
6.6.2. Tendencia de las emisiones	248
6.6.3. Metodología	252
6.6.4. Incertidumbre y coherencia temporal	253
6.6.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	254
6.6.6. Recálculos	254
6.6.7. Plan de mejora	254
6.7. HUMEDALES (3.B.4)	255
6.7.1. Descripción de la categoría	255
6.7.2. Tendencia de las emisiones	255
6.7.3. Metodología	257
6.7.4. Incertidumbre y coherencia temporal	257
6.7.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	258
6.7.6. Recálculos	258
6.7.7. Plan de mejora	258
6.8. FUENTES AGREGADAS Y FUENTES NO CO ₂ : QUEMA DE BIOMASA EN TIERRAS FORESTALES (3.C.1A)	259
6.8.1. Descripción de la categoría	259
6.8.2. Tendencia de las emisiones	259
6.8.3. Metodología	260
6.8.4. Incertidumbre y coherencia temporal	260
6.8.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	262
6.8.6. Recálculos	262
6.8.7. Plan de mejora	262
6.9. FUENTES AGREGADAS Y FUENTES NO CO ₂ : PRODUCTOS DE MADERA RECOLECTADA (3.D.1)	263
6.9.1. Descripción de la categoría	263
6.9.2. Tendencia de las emisiones	263
6.9.3. Metodología	264
6.9.4. Incertidumbre y coherencia temporal	265
6.9.5. Procedimiento de garantía y control de calidad	266
6.9.6. Recálculos	266
6.9.7. Plan de mejora	267

6.10. INCERTIDUMBRE DEL SECTOR	267
6.11. RECÁLCULOS DEL SECTOR	268
6.12. PLAN DE MEJORA DEL SECTOR	269
6.13. EMISIONES DE OTROS GASES Y CARBONO NEGRO	269

271 7. SECTOR RESIDUOS

7.1. PANORAMA DEL SECTOR	271
7.1.1. Introducción	271
7.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector	271
7.2. DISPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS (4.A)	274
7.2.1. Descripción de la categoría	274
7.2.2. Metodología	275
7.2.3. Incertidumbre y coherencia temporal	279
7.2.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	281
7.2.5. Recálculos	281
7.2.6. Plan de mejora	281
7.3. TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS (4.B)	282
7.3.1. Descripción de la categoría	282
7.3.2. Metodología	283
7.3.3. Incertidumbre y coherencia temporal	283
7.3.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	284
7.3.5. Recálculos	286
7.3.6. Plan de mejora	286
7.4. INCINERACIÓN E INCINERACIÓN ABIERTA DE RESIDUOS (4.C)	286
7.4.1. Descripción de la categoría	286
7.4.2. Metodología	287
7.4.3. Incertidumbre y coherencia temporal	289
7.4.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	291
7.4.5. Recálculos	291
7.4.6. Plan de mejora	292
7.5. TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES (4.D)	293
7.5.1. Descripción de la categoría	293
7.5.2. Metodología	294
7.5.3. Incertidumbre y coherencia temporal	297
7.5.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría	300
7.5.5. Recálculos	300
7.5.6. Plan de mejora	300
7.6. INCERTIDUMBRE DEL SECTOR	301
7.7. RECÁLCULOS DEL SECTOR	303
7.8. PLAN DE MEJORA DEL SECTOR	303
7.9. EMISIONES DE CARBONO NEGRO	303

305 8. MEJORAS DEL INGEI

8.1. MEJORAS GENERALES REALIZADAS Y PLANEADAS DEL INGEI	305
8.1.1. Mejoras realizadas	305
8.1.2. Mejoras generales planeadas	306

307 9. BIBLIOGRAFÍA

313 *Anexos*

ANEXO A: RESUMEN DE EMISIONES POR SECTOR EN 2017	314
ANEXO B: DATOS DE ACTIVIDAD	322
ANEXO C: EMISIONES	339
ANEXO D: LISTA DE CHEQUEO	359
ANEXO E: MÉTODO DE MONTE CARLO	360
ANEXO F: ETANOL EN GASOLINA	362
ANEXO G: BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA PARA EL ÚLTIMO AÑO DE INVENTARIO (2017), EN TERAJULIOS UTILIZANDO PODER CALÓRICO NETO	363
ANEXO H: CORRECCIÓN DEL CONSUMO DE MADERA EN CARBONERAS DEL BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA	364
ANEXO I: DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN DE CO ₂ PAÍS ESPECÍFICO PARA LA MADERA Y EL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR.	365
ANEXO J: AJUSTE DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD DE CONSUMO DE MADERA PARA LA APLICACIÓN DEL FACTOR DE EMISIÓN PAÍS ESPECÍFICO	368
ANEXO K. HOJAS DE CHEQUEOS GENERAL Y DETALLADO POR CATEGORÍA PARA CONTROL DE LA CALIDAD.	369
ANEXO L. MAPA DE COBERTURA Y Y USO DE LA TIERRA EN COSTA RICA	375

Índice de figuras

Figura 1.1 Estructura de los arreglos institucionales para elaboración del inventario de GEI.	34
Figura 1.2 Ciclo de inventario de Costa Rica.	35
Figura 1.3 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de CO ₂ de Costa Rica en 2017.	42
Figura 1.4 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de CH ₄ de Costa Rica en 2017.	42
Figura 1.5 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de N ₂ O de Costa Rica en 2017.	42
Figura 1.6 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de HFCs de Costa Rica en 2017.	43
Figura 1.7 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de CO ₂ equivalente de Costa Rica en 2017.	43
Figura 2.1 Contribución relativa por gas en el total de emisiones de 2017 excluyendo FOLU	46
Figura 2.2 Contribuciones relativas de los sectores (excluyendo FOLU) a los GEI en 2017	46
Figura 2.3 Tendencia relativa respecto a 1990 de las emisiones de CO ₂ excluyendo FOLU	48
Figura 2.4 Tendencia relativa respecto a 1990 de las emisiones de GEI neto (incluyendo FOLU)	48
Figura 2.5 Tendencia de las emisiones de HFCs en Costa Rica, 1995-2017.	49
Figura 2.6 Tendencia relativa con respecto a 1990 de las emisiones de SF ₆ .	49
Figura 2.7 Tendencia de las emisiones totales de Costa Rica en el período 1990-2017.	51
Figura 2.8 Variación relativa de las emisiones de gases precursores en el período 1990 a 2017 con respecto a 1990.	53
Figura 2.9 Variación de las emisiones de carbono negro con respecto a 1990.	53
Figura 3.1 Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector energía en el 2017.	56
Figura 3.2 Emisiones por categoría de fuente del sector Energía de Costa Rica para el período 1990-2017.	57
Figura 3.3 Tendencia de las emisiones del sector energía.	57
Figura 3.4 Comparación de emisiones de CO ₂ de diferentes estimaciones.	60

Figura 3.5 Comparación de las variaciones relativas de las diferentes estimaciones..	61
Figura 3.6 Emisiones debidas al transporte aéreo internacional de 1990 a 2017..	62
Figura 3.7 Estimaciones de emisiones debidas a la aviación internacional..	64
Figura 3.8 Análisis de la tendencia de las emisiones de aviación internacional con el número de despegues.	65
Figura 3.9 Emisiones de GEI debidas a la navegación marítima internacional desde 1990..	66
Figura 3.10 Recálculos de las emisiones de navegación marítima internacional.	68
Figura 3.11 Distribución relativa de las emisiones (excluyendo CO ₂ biogénico) por categoría de fuente de la industria (1.A.1) de la energía en 2017..	69
Figura 3.12 Serie histórica 1990-2017 de emisiones de la categoría 1.A.1 por fuente.	70
Figura 3.13 Desviaciones relativas de las emisiones de la industria de la energía (1.A.1) con respecto a 1990.	70
Figura 3.14 Estimación de la incertidumbre por Monte Carlo para las industrias de la energía (1.A.1)..	71
Figura 3.15 Emisiones de producción de electricidad y calor (1.A.1.a), serie 1990-2017 excluye CO ₂ de biomasa.	72
Figura 3.16. Emisiones de la subcategoría 1.A.1a simuladas con Monte Carlo.	74
Figura 3.17 Verificación de la tendencia de las emisiones de la categoría 1.A.1a con la generación termoeléctrica.	75
Figura 3.18 Emisiones debidas a la refinación de petróleo (1.A.1.b) serie 1990-2017.	77
Figura 3.19 Emisiones de la subcategoría 1.A.1b simuladas con Monte Carlo.	79
Figura 3.20 Emisiones de la fabricación de combustibles sólidos (1.A.1c).	80
Figura 3.21 Emisiones de la subcategoría 1.A.1.c simuladas con Monte Carlo.	82
Figura 3.22 Recálculos para la categoría 1.A.1c Fabricación de combustibles sólidos.	83
Figura 3.23 Distribución relativa de las emisiones por tipo de industria manufacturera y de la construcción..	83
Figura 3.24 Histórico de emisiones por tipo de industria en la categoría de manufactura y construcción (1.A.2)..	84
Figura 3.25 Histórico de emisiones por tipo de combustible en la categoría de manufactura y construcción (1.A.2).	85
Figura 3.26 Emisiones de la subcategoría 1.A.2 simuladas con Monte Carlo.	88
Figura 3.27 Recálculos de emisiones para la industria manufacturera y de la construcción (1.A.2)..	90
Figura 3.28 Distribución relativa de las emisiones de transporte (1.A.3) para el 2017.	92
Figura 3.29 Histórico emisiones del transporte (1.A.3) por subcategoría..	92

Figura 3.30	Histórico emisiones del transporte (1.A.3) por combustible.	93
Figura 3.31	Variación interanual de las emisiones de transporte (1.A.3).	93
Figura 3.32	Desviaciones relativas de las emisiones del transporte (1.A.3) con respecto a 1990.	94
Figura 3.33	Histórico de las emisiones de transporte terrestre (1.A.3.b) por tipo de vehículo.	95
Figura 3.34	Simulación de Monte Carlo para el transporte (1.A.3).	99
Figura 3.35	Recálculos de las emisiones atribuidas al transporte (1.A.3).	99
Figura 3.36	Distribución relativa de las emisiones de otros sectores (1.A.4) para el 2017.	100
Figura 3.37	Histórico de las emisiones de otros sectores (1.A.4) por subcategoría.	101
Figura 3.38	Histórico de las emisiones de otros sectores (1.A.4) por subcategoría.	101
Figura 3.39	Simulación de Monte Carlo para otros sectores (1.A.4).	105
Figura 3.40	Recálculos de emisiones para otros sectores (1.A.4).	105
Figura 3.41	Fuentes de emisiones fugitivas contabilizadas en el país.	106
Figura 3.42	Histórico de emisiones fugitivas del petróleo (1.B.2a).	107
Figura 3.43	Histórico de emisiones de la producción de energía geotérmica (1.B.3)	110
Figura 3.44	Simulación de Monte Carlo para la categoría 1.B.3.	113
Figura 3.45	Recálculos de la categoría 1.B.3.	114
Figura 3.46	Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CO ₂ del sector energía,	116
Figura 3.47	Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ del sector energía.	117
Figura 3.48	Simulación de Monte Carlo para las emisiones de N ₂ O del sector energía.	117
Figura 3.49	Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CO ₂ equivalente del sector energía.	117
Figura 3.50	Recálculos para el sector energía.	118
Figura 4.1	Tendencia de las emisiones del sector IPPU de Costa Rica.	123
Figura 4.2	Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector IPPU en el 2017.	123
Figura 4.3	Tendencia de las emisiones del sector IPPU.	124
Figura 4.4	Emisiones de CO ₂ en la producción de cemento para el período 1990-2017.	125
Figura 4.5	Histograma de la simulación de Monte Carlo para la estimación de incertidumbre de las emisiones de la producción de cemento.	129
Figura 4.6	Comparación de la tendencia histórica de las emisiones y la producción de cemento a precios básicos de 1991.	131
Figura 4.7	Comparación de la tendencia histórica de las emisiones y la producción de cemento a precios de 2012.	131

Figura 4.8 Emisiones de CO ₂ en la producción de cal para el período 1990-2017.	132
Figura 4.9 Análisis de Monte Carlo para las emisiones de CO ₂ de la producción de cal (2.A.2).	135
Figura 4.10 Recálculos de las emisiones debidas la fabricación de cal (2.A.2).	136
Figura 4.11 Emisiones de CO ₂ en la producción de vidrio para el período 1990-2015. . . .	137
Figura 4.28 Histórico de emisiones debidas al uso de aerosoles	167
Figura 4.12 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de la producción de vidrio. . . .	140
Figura 4.13 Comparación de tendencia histórica de las emisiones de la producción de vidrio y la producción	140
Figura 4.14 Emisiones de CO ₂ debidas a otros usos de Na ₂ CO ₃ para el período 1990-2017	142
Figura 4.15 Histograma de la simulación de Monte Carlo para la estimación de incertidumbre de las emisiones del consumo de Na ₂ CO ₃	144
Figura 4.16. Emisiones de CO ₂ debidas al uso de CaC ₂ para el período 1990-2017.	147
Figura 4.17 Histograma de la simulación de Monte Carlo para la estimación de incertidumbre de las emisiones del uso de CaC ₂	149
Figura 4.18 Emisiones de CO ₂ debidas al uso de lubricantes	150
Figura 4.19 Histograma de la simulación de Monte Carlo para la estimación de incertidumbre de las emisiones por uso de lubricantes	153
Figura 4.20. Emisiones de CO ₂ debidas al uso de ceras de parafina	154
Figura 4.21 Estimación de Monte Carlo para las emisiones por el uso de parafina	156
Figura 4.22 Distribución relativa de las emisiones de la categoría 2.F.1 por sub-aplicación en el 2017	157
Figura 4.23 Histórico de emisiones debidas a la refrigeración y aire acondicionado	159
Figura 4.24 Monte Carlo para las emisiones debidas a la refrigeración y aire acondicionado	162
Figura 4.25 Recálculos incluidos en el INGEI 2015 de las emisiones de refrigeración y aire acondicionado	163
Figura 4.26 Recálculos de la categoría 2.F.1.	164
Figura 4.27 Histórico de emisiones debidas a los sistemas de protección contra incendios	165
Figura 4.29 Histórico de emisiones debidas al uso HFC en otras aplicaciones	169
Figura 4.30 Histórico de emisiones debidas al uso de SF ₆	172
Figura 4.31 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de SF ₆ en equipos eléctricos	173
Figura 4.32 Histograma de la simulación de Monte Carlo para el sector IPPU	173
Figura 4.33 Recálculo realizado en el INGEI 2015 de las emisiones del sector IPPU para inventarios anteriores.	175

Figura 4.34 Recálculo realizado en el INGEI 2017 de las emisiones del sector IPPU para inventarios anteriores.	175
Figura 5.1 Emisiones del sector agricultura en el período 1990-2017.	178
Figura 5.3 Tendencia de las emisiones del sector.	179
Figura 5.2 Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector agricultura en el 2017	179
Figura 5.4 Emisión de CH ₄ por fermentación entérica para el período 1990-2017	181
Figura 5.5 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 3.A.1.	184
Figura 5.6 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 3.A.1 expresadas como CO ₂ eq.	184
Figura 5.7 Recálculo para la categoría 3.A.1.	185
Figura 5.8 Emisión de CH ₄ por gestión de estiércol para el período 1990-2017.	186
Figura 5.9 Emisión de N ₂ O por gestión de estiércol para el período 1990-2017.	188
Figura 5.10 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 3.A.2.	191
Figura 5.11 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de N ₂ O de la categoría 3.A.2.	192
Figura 5.12. Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 3.A.2 expresadas como CO ₂ eq.	192
Figura 5.13 Recálculo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 3.A.2.	192
Figura 5.13 Recálculo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 3.A.2.	193
Figura 5.14 Recálculo para las emisiones de N ₂ O de la categoría 3.A.2.	194
Figura 5.15 Histórico de emisiones de CH ₄ por quemas en tierras de cultivo y pastizales en Costa Rica.	195
Figura 5.16 Histórico de emisiones de N ₂ O por quemas en tierras de cultivo y pastizales en Costa Rica	196
Figura 5.17 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 3.C.1b +3.C.1c.	198
Figura 5.18 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de N ₂ O de la categoría 3.C.1b +3.C.1c.	198
Figura 5.19 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 3.C.1b +3.C.1c expresadas como CO ₂ eq.	199
Figura 5.20 Recálculos de las emisiones de CH ₄ de quemado de biomasa en tierras de cultivo (3.C.1b).	199

Figura 5.21	Recálculos de las emisiones de N ₂ O de quemado de biomasa en tierras de cultivo (3.C.1b).	200
Figura 5.22	Recálculos de las emisiones de CH ₄ de quemado de biomasa en pastizales (3.C.1c).	200
Figura 5.23	Recálculos de las emisiones de N ₂ O de quemado de biomasa en pastizales (3.C.1c).	200
Figura 5.24	Tendencia histórica (1990-2017) de la emisión de dióxido de carbono por aplicación de enmiendas al suelo de los cultivos en Costa Rica.	201
Figura 5.25	Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de CO ₂ de la categoría 3.C.2..	203
Figura 5.26	Recálculos para la categoría 3.C.2.	203
Figura 5.27	Tendencia histórica (1990-2017) de la emisión de óxido nitroso del sector agropecuario de Costa Rica.	204
Figura 5.28	Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de N ₂ O de la categoría 3.C.4.	208
Figura 5.29	Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 3.C.4 expresadas como CO ₂ eq	209
Figura 5.30	Recálculos para la categoría 3.C.4.	209
Figura 5.31	Emisiones de la categoría 3.C.7 en el período 1990-2017	210
Figura 5.32	Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 3.C.7	212
Figura 5.33	Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 3.C.7 expresadas como CO ₂ eq	212
Figura 5.34	Recálculos para la categoría 3.C.7	213
Figura 5.35	Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CO ₂ del sector agricultura	213
Figura 5.36	Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CH ₄ del sector agricultura	214
Figura 5.37	Simulación de Monte Carlo de las emisiones de N ₂ O del sector agricultura	214
Figura 5.38	Simulación de Monte Carlo de las emisiones totales del sector agricultura expresadas como CO ₂ eq	214
Figura 5.39	Recálculos para el sector agricultura.	215
Figura 6.1	Emisiones (+) y absorciones (-) netas de CO ₂ eq para el sector FOLU por categoría de uso de la tierra para el periodo 1990-2017.	219
Figura 6.2	Distribución relativa por categoría de uso de la tierra de las emisiones y absorciones absolutas del sector silvicultura y otros usos de la tierra en 2017	220

Figura 6.3 Emisiones y absorciones de GEI ocurridas en tierras forestales que permanecen como tales y tierras convertidas en tierras forestales para la serie temporal 1990-2017..	226
Figura 6.4 Emisiones y absorciones por estrato de la subcategoría de tierras forestales que permanecen como tales para la serie 1990-2007.	227
Figura 6.5 Emisiones y absorciones de los bosques secundarios que permanecieron como tales para la serie 1990-2017.	228
Figura 6.6 Emisiones y absorciones de las plantaciones forestales según especie para la serie 1990-2017..	229
Figura 6.7 Emisiones de CO ₂ eq (Gg) debidas a las pérdidas de biomasa por disturbios naturales ocurridos en plantaciones forestales y bosques secundarios para la serie 1990-2017.	230
Figura 6.8 Emisiones de GEI debidas a las pérdidas por remoción de biomasa en plantaciones forestales para la serie 1990-2017.	231
Figura 6.9 Emisiones y absorciones de GEI (Gg CO ₂) debidas a la conversión de tierras en tierras forestales según tipo de bosque para la serie 1990-2017.	232
Figura 6.10 Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) totales de las tierras forestales.	238
Figura 6.11 Recálculos para la categoría 3.B.1 Tierras forestales..	239
Figura 6.12 Emisiones y absorciones de GEI ocurridas en tierras de cultivo que permanecen como tales y tierras convertidas en tierras de cultivo para la serie temporal 1990-2017	241
Figura 6.13 Emisiones y absorciones de CO ₂ debidas a la conversión de tierras en tierras de cultivo para la serie 1990-2017	242
Figura 6.14 Emisiones y absorciones de CO ₂ debidas a la conversión de tierras en tierras de cultivos anuales para la serie 1990-2017	243
Figura 6.15 Emisiones y absorciones de CO ₂ (Gg) debidas a la conversión de tierras en tierras de cultivos permanentes para la serie 1990-2017..	244
Figura 6.16 Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones (Gg CO ₂ eq) totales de las tierras de cultivo	246
Figura 6.17 Recálculos para la categoría 3.B.2. Tierras de cultivo.	247
Figura 6.18 Emisiones y absorciones de GEI ocurridas en pastizales que permanecen como tales y tierras convertidas en pastizales para la serie temporal 1990-2017..	248
Figura 6.19 Emisiones y absorciones de CO ₂ debidas a la conversión de bosques primarios y secundarios en pastizales para la serie 1990-2017..	250
Figura 6.20 Emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) debidas a la conversión de bosques primarios en pastizales para la serie 1990-2017..	250

Figura 6.21	Emisiones y absorciones de CO ₂ (Gg) debidas a la conversión de bosques secundarios en pastizales para la serie 1990-2017.	252
Figura 6.22	Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones de CO ₂ totales en pastizales.	253
Figura 6.23	Recálculos para la categoría 3.B.2. Pastizales.	254
Figura 6.24	Emisiones y absorciones de CO ₂ eq ocurridas en humedales para la serie temporal 1990-2017.. . . .	255
Figura 6.25	Emisiones de metano ocurridas en tierras inundadas para la serie 1990-2017.	256
Figura 6.26	Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones (CO ₂) totales en humedales.	258
Figura 6.27	Recálculos para la categoría 3.B.3. Humedales.	259
Figura 6.28	Emisiones de CO ₂ eq (Gg) ocurridas en incendios forestales para la serie temporal 1990-2017.. . . .	260
Figura 6.29	Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CH ₄ (Gg CO ₂ eq) generadas en incendios forestales	261
Figura 6.30	Simulación de Monte Carlo de las emisiones de N ₂ O (Gg CO ₂ eq) generadas en incendios forestales.	261
Figura 6.31	Recálculos para la categoría 3.C.1a. Quemadas de biomasa forestal.	262
Figura 6.32	Aporte de los productos de madera recolectada provenientes de plantaciones forestales por uso de la madera en Costa Rica para la serie temporal 1990-2017.. . . .	264
Figura 6.33	Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones de CO ₂ (Gg) generadas en los productos de madera recolectada.	266
Figura 6.34	Recálculos para la categoría 3.D.1 Productos de Madera Recolectada.	267
Figura 6.35	Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones de (Gg CO ₂ eq) generadas en el sector silvicultura y otros usos de la tierra para el 2017.. . . .	267
Figura 6.36	Recálculos para el sector silvicultura y otros usos de la tierra.	269
Figura 7.1	Histórico de las emisiones del sector Residuos..	272
Figura 7.3	Tendencia de las emisiones del sector residuos..	273
Figura 7.2	Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector Residuos en el 2017	273
Figura 7.4	Emisiones de CH ₄ en el tratamiento de residuos sólidos en la para el período 1990-2017.	274
Figura 7.5	Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 4.A.	280
Figura 7.6	Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 4.A expresadas como CO ₂ eq.	280

Figura 7.7 Recálculos para la categoría 4.A.	281
Figura 7.8 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 4.B. . . .	285
Figura 7.9 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de N ₂ O de la categoría 4.B. . . .	285
Figura 7.10 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 4.B expresadas como CO ₂ eq.	285
Figura 7.11 Recálculos para el tratamiento biológico de los residuos sólidos (4.B).. . . .	286
Figura 7.12 Tendencia de las emisiones de la categoría 4.C.	287
Figura 7.13 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CO ₂ de la categoría 4.C. . . .	290
Figura 7.14 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 4.C. . . .	290
Figura 7.15 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de N ₂ O de la categoría 4.C. . . .	291
Figura 7.16 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 4.C expresadas como CO ₂ eq.	291
Figura 7.17 Recálculos para la quema abierta de residuos (4.C)	292
Figura 7.18 Tendencia de las emisiones de la categoría 4.D.	293
Figura 7.19 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ de la categoría 4.D. . . .	299
Figura 7.20 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de N ₂ O de la categoría 4.D. . . .	299
Figura 7.21 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 4.D expresadas como CO ₂ eq.	299
Figura 7.22 Recálculos para la categoría 4.D.	300
Figura 7.23 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CO ₂ del sector residuos. . . .	301
Figura 7.24 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CH ₄ del sector residuos. . . .	301
Figura 7.25 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de N ₂ O del sector residuos. . . .	302
Figura 7.26 Simulación de Monte Carlo de las emisiones totales del sector residuos. . . .	302
Figura 7.27 Recálculos totales para el sector Residuos.	302

Índice de cuadros

Cuadro I.1. Emisiones de GEI para el año 2017	32
Cuadro 1.1 Potenciales de calentamiento global usados en el inventario 2017.	36
Cuadro 1.2 Niveles metodológicos utilizados en el inventario 2017.	37
Cuadro 1.3 Fuentes principales de emisión de gases de efecto invernadero para Costa Rica de acuerdo con la evaluación de nivel y tendencia	40
Cuadro 1.4 Análisis de incertidumbre del inventario 2017	41
Cuadro 1.5 Categorías no estimadas (NE) en INGEI 2017.	44
Cuadro 2.1 Emisiones por gas y sector de Costa Rica en 2017.	45
Cuadro 2.2 Indicadores relacionados a las emisiones GEI (incluyendo FOLU)	46
Cuadro 2.3 Emisiones, en Gg, de gases de efecto invernadero en Costa Rica	47
Cuadro 2.4. Tendencia relativa de las emisiones por gas (%)..	47
Cuadro 2.5 Emisiones y absorciones por sector en Costa Rica	50
Cuadro 2.6 Contribución al total de emisiones por sector en Costa Rica	51
Cuadro 2.7 Emisiones de gases precursores y carbono negro por sector	52
Cuadro 2.8 Emisiones totales de gases precursores y carbono negro	52
Cuadro 3.1 Categorías estimadas en el sector Energía	55
Cuadro 3.2 Potenciales de calentamiento global (PCG) utilizados.	55
Cuadro 3.3 Emisiones de GEI del sector Energía para Costa Rica por categoría de fuente	56
Cuadro 3.4 Parámetros por defecto para los combustibles	58
Cuadro 3.5 Parámetros para los combustibles con valores específicos del país	59
Cuadro 3.6 Información introductoria para la categoría 1.A.3a.i.	62
Cuadro 3.7 Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O para el Nivel 1 para la categoría 1.A.3a.i	63
Cuadro 3.8 Recálculos para las emisiones de transporte aéreo internacional de 1996 (1.A.3ai)	65
Cuadro 3.9 Información introductoria para la categoría 1.A.3d.i.	66
Cuadro 3.10 Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O para el Nivel 1 para IFO 380 consumido en navegación marítima	67
Cuadro 3.11 Consumo estimado de IFO 380 para navegación marítima internacional	67
Cuadro 3.12 Emisiones de la Industria de la Energía (1.A.1) por categoría de fuente en Costa Rica	69

Cuadro 3.13	Emisiones totales de la Industria de la Energía por categoría de fuente por gas emitido	69
Cuadro 3.14	Información introductoria para la categoría 1.A.1a.	72
Cuadro 3.15	Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O de Nivel 1 para la producción de electricidad y calor (1.A.1a)	73
Cuadro 3.16	Consumo de combustible en producción de electricidad y calor (1.A.1a)	73
Cuadro 3.17	Incertidumbre por propagación del error para producción de electricidad y calor (1.A.1a)	74
Cuadro 3.18	Metodologías de estimación de las emisiones de la producción de electricidad y calor utilizadas en inventarios anteriores.	76
Cuadro 3.19	Información introductoria para la categoría 1.A.1b.	77
Cuadro 3.20	Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O de Nivel 1 para el refinamiento de petróleo (1.A.1b)	77
Cuadro 3.21	Consumo de combustible en la refinación de petróleo (1.A.1b)	78
Cuadro 3.22	Incertidumbre por propagación del error para refinación de petróleo (1.A.1b).	78
Cuadro 3.23	Metodologías de estimación de las emisiones de la producción de electricidad y calor utilizadas en inventarios anteriores.	79
Cuadro 3.24	Información introductoria para la categoría 1.A.1c.	80
Cuadro 3.25	Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O de Nivel 1 para la producción de combustibles sólidos (1.A.1c)	81
Cuadro 3.26	Consumo de combustible en la fabricación de combustibles sólidos (1.A.1c).	81
Cuadro 3.27	Incertidumbre por propagación del error para fabricación de combustibles sólidos (1.A.1c).	82
Cuadro 3.28	Emisiones de la industria manufacturera y de la construcción (1.A.2) por tipo de industria	84
Cuadro 3.29	Emisiones de la industria manufacturera y de la construcción (1.A.2) por tipo de gas.	85
Cuadro 3.30	Información introductoria para la categoría 1.A.2.	85
Cuadro 3.31	Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O de Nivel 1 para la industria de la manufactura y construcción (1.A.2)	86
Cuadro 3.32	Datos de actividad para la industria de la manufactura y construcción (1.A.2).	86
Cuadro 3.33	Incertidumbre por propagación del error para industrias de manufactura y construcción (1.A.2)	89
Cuadro 3.34	Metodologías de estimación de las emisiones de manufactura y construcción (1.A.2) utilizadas en inventarios anteriores.	90
Cuadro 3.35	Subcategorías de fuente del transporte (1.A.3) estimadas en este inventario.	91
Cuadro 3.36	Emisiones del transporte (1.A.3) por subcategoría	92
Cuadro 3.37	Emisiones del transporte (1.A.3) por tipo de gas	94

Cuadro 3.38 Emisiones del transporte terrestre (1.A.3b) por tipo de vehículo	95
Cuadro 3.39 Información introductoria para la categoría 1.A.3	95
Cuadro 3.40 Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O de Nivel 1 para el transporte (1.A.3) por subcategoría	96
Cuadro 3.41 Consumo de combustible en el transporte (1.A.3).	97
Cuadro 3.42 Incertidumbre por propagación del error para el transporte (1.A.3)	98
Cuadro 3.43 Metodologías de estimación de las emisiones de transporte (1.A.3) utilizadas en inventarios anteriores.	99
Cuadro 3.44. Subcategorías de fuente de otros sectores (1.A.4) estimadas en este inventario	100
Cuadro 3.45. Emisiones de Otros sectores (1.A.4) por subcategoría para el 2017	101
Cuadro 3.46 Emisiones de otros sectores (1.A.4) por gas	102
Cuadro 3.47 Información introductoria para la categoría 1.A.4.	102
Cuadro 3.48 Factores de emisión de CH ₄ y N ₂ O de Nivel 1 para otros sectores (1.A.4)	102
Cuadro 3.49 Consumo de combustible de otros sectores (1.A.4).	103
Cuadro 3.50 Incertidumbre por propagación del error para otros sectores (1.A.4)	103
Cuadro 3.51 Metodologías de estimación de emisiones de otros sectores (1.A.4) de inventarios anteriores	105
Cuadro 3.52 Subcategorías de fuente de emisiones fugitivas del petróleo (1.B.2a) estimadas en este inventario	106
Cuadro 3.53 Emisiones fugitivas debidas al petróleo (1.B.2a).	107
Cuadro 3.54 Emisiones fugitivas debidas al petróleo (1.B.2a).	107
Cuadro 3.55. Información introductoria para la categoría 1.B.2a	107
Cuadro 3.56 Factores de emisión de CH ₄ y CO ₂ de Nivel 1 para emisiones fugitivas por petróleo (1.B.2a)	108
Cuadro 3.57 Datos de actividad para la categoría de emisiones fugitivas de petróleo (1.B.2a)	108
Cuadro 3.58 Incertidumbre por propagación del error para emisiones fugitivas de petróleo (1.B.2a).	108
Cuadro 3.59 Metodologías de estimación de emisiones de otros sectores (1.A.4) de inventarios anteriores	109
Cuadro 3.60 Emisiones de inventarios anteriores y recalculadas para la categoría Petróleo (1.B.2a).	109
Cuadro 3.61 Emisiones fugitivas de CO ₂ provenientes de la producción de energía geotérmica (1.B.3)	110
Cuadro 3.62 Información introductoria para la categoría 1.B.2a.	111
Cuadro 3.63 Factores de emisión de la categoría 1.B.3.	111

Cuadro 3.64	Datos de actividad para la categoría 1.B.3	112
Cuadro 3.65	Incertidumbre por propagación del error para emisiones de la producción geotérmica (1.B.3)	112
Cuadro 3.66	Metodologías de estimación de emisiones de la categoría 1.B.3 de inventarios anteriores	113
Cuadro 3.67	Emisiones de CO ₂ por la quema de biomasa	115
Cuadro 3.68	Datos de actividad para estimar el CO ₂ biogénico	115
Cuadro 3.69	Emisiones de gases precursores del sector energía 2017.	118
Cuadro 4.1	Categorías estimadas en el sector procesos industriales y uso de productos	121
Cuadro 4.2	Potenciales de calentamiento global (PCG) utilizados.	122
Cuadro 4.3	Emisiones del sector IPPU (en Gg de CO ₂ eq) para inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	123
Cuadro 4.4	Emisiones de CO ₂ en la producción de cemento (2.A.1)	125
Cuadro 4.5	Información introductoria para la categoría 2.A.1	126
Cuadro 4.6	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por producción de cemento	128
Cuadro 4.7	Incertidumbres en la simulación de Monte Carlo para las emisiones por producción de cemento	129
Cuadro 4.8.	Emisiones de CO ₂ en la producción de cal (2.A.2)	132
Cuadro 4.9	Información introductoria para la categoría 2.A.2	133
Cuadro 4.10	Valores de incertidumbre para la estimación de emisiones de CO ₂ de la producción de cal.	134
Cuadro 4.11	Metodologías de estimación utilizadas en inventarios anteriores de la producción de cal (2.A.2).	135
Cuadro 4.12	Emisiones de CO ₂ en la producción de vidrio (2.A.3)	137
Cuadro 4.13	Información introductoria para la categoría 2.A.3	138
Cuadro 4.14	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por producción de vidrio	139
Cuadro 4.15	Incertidumbres en la simulación de Monte Carlo para las emisiones por producción de vidrio	139
Cuadro 4.16	Emisiones de CO ₂ debidas a otros usos de carbonato de sodio (2.A.4b)	141
Cuadro 4.17	Información introductoria para la categoría 2.A.4b.	141
Cuadro 4.18	Consumo de carbonato de sodio en otros usos	143
Cuadro 4.19	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por consumo de carbonato de sodio.	143
Cuadro 4.20	Incertidumbres en la simulación de Monte Carlo para emisiones por consumo de carbonato de sodio.	143

Cuadro 4.21	Emisiones debidas a la producción de ácido nítrico (2.B.2)	145
Cuadro 4.22	Información introductoria para la categoría 2.B.2	145
Cuadro 4.23	Producción de ácido nítrico utilizado para la estimación de emisiones de la categoría 2.B.2.	145
Cuadro 4.24	Emisiones de CO ₂ debidas al uso de carburo de calcio (2.B.5)	147
Cuadro 4.25	Información introductoria para la categoría 2.B.5	147
Cuadro 4.26.	Consumo de carburo de calcio	148
Cuadro 4.27	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por uso de carburo de calcio	148
Cuadro 4.28	Incertidumbres utilizadas en simulación de Monte Carlo de las emisiones de por uso de CaC ₂	149
Cuadro 4.29	Emisiones debidas al uso de lubricantes (2.D.1).	150
Cuadro 4.30	Información introductoria para la categoría 2.D.1	150
Cuadro 4.31	Uso de aceites y grasas en Costa Rica	151
Cuadro 4.32	Estimación de la incertidumbre de las emisiones por uso de lubricantes . . .	152
Cuadro 4.33	Incertidumbres utilizadas en la simulación de Monte Carlo para las emisiones por uso de lubricantes	152
Cuadro 4.34	Emisiones debidas al uso de ceras de parafina (2.D.2)	153
Cuadro 4.35	Información introductoria para la categoría 2.D.2	153
Cuadro 4.36	Consumo de parafina para estimar las emisiones de la categoría 2.D.2. . . .	155
Cuadro 4.37	Estimación de incertidumbre por propagación de error para el uso de ceras de parafina	155
Cuadro 4.38.	Incertidumbres utilizadas en la simulación de Monte Carlo para las emisiones por uso de parafina	155
Cuadro 4.39	Emisiones debidas a la refrigeración y aire acondicionado (2.F.1)	158
Cuadro 4.40	Información introductoria para la categoría 2.F.1.	159
Cuadro 4.41	Factores utilizados en la estimación de la categoría 2.F.1	161
Cuadro 4.42	Incertidumbre por propagación de error para las emisiones por refrigeración y aire acondicionado	162
Cuadro 4.43	Consideraciones de la simulación de Monte Carlo para las emisiones por refrigeración y aire acondicionado	162
Cuadro 4.44	Supuestos de la estimación de emisiones de la categoría 2.F.1 en el INGEI 2015 e INGEI 2017	164
Cuadro 4.45	Emisiones en sistemas de protección contra incendios (2.F.3)	165
Cuadro 4.46	Información introductoria para la categoría 2.F.3.	165
Cuadro 4.47	Datos de actividad para las emisiones de protección contra incendios (2.F.3). .	166

Cuadro 4.48	Emisiones debidas al consumo de aerosoles (2.F.4)	167
Cuadro 4.49	Información introductoria para la categoría 2.F.4.	167
Cuadro 4.50	Datos de actividad para la categoría 2.F.4	168
Cuadro 4.51	Emisiones debidas al consumo de HFC en otras aplicaciones (2.F.6)	169
Cuadro 4.52	Información introductoria para la categoría 2.F.6.	170
Cuadro 4.53	Datos de actividad para la categoría 2.F.6	170
Cuadro 4.54	Emisiones debidas al uso de SF ₆ en equipos eléctricos (2.G.1b)	172
Cuadro 4.55	Categorías de fuentes estimadas en inventarios anteriores	174
Cuadro 4.56	Potenciales de calentamiento global a 100 años utilizados en inventarios anteriores	176
Cuadro 4.57	Emisiones de otros gases en el sector IPPU	176
Cuadro 5.1	Categorías estimadas en el sector Agricultura	177
Cuadro 5.2	Potenciales de calentamiento global (PCG) utilizados.	177
Cuadro 5.3	Emisiones del sector Agricultura (en Gg de CO ₂ eq) para inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	178
Cuadro 5.4	Emisión de CH ₄ de la fermentación entérica (3.A.1)	180
Cuadro 5.5	Información básica para la categoría 3.A.1	181
Cuadro 5.6	Población animal usada para la estimación de emisiones por fermentación entérica	182
Cuadro 5.7	Factores de emisión de Nivel 1 para la categoría 3.A.1	183
Cuadro 5.8	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por fermentación entérica	183
Cuadro 5.9	Incertidumbres por simulación de Monte Carlo para las emisiones por fermentación entérica	183
Cuadro 5.10	Emisión de CH ₄ por manejo del estiércol de la ganadería de Costa Rica . . .	186
Cuadro 5.11	Emisión de N ₂ O por manejo del estiércol de la ganadería de Costa Rica . . .	187
Cuadro 5.12	Información básica para la categoría 3.A.2.	187
Cuadro 5.13	Factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones de CH ₄ la categoría 3.A.2	190
Cuadro 5.14	Factores de emisión de Nivel 2 para las emisiones de CH ₄ categoría 3.A.2. .	190
Cuadro 5.15	Población de aves de corral del 2017 usadas en la estimación de la emisión de N ₂ O por gestión de estiércol.	190
Cuadro 5.16	Factores de emisión de Nivel 1 para la emisión de N ₂ O la categoría 3.A.2 . .	191
Cuadro 5.17	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones de CH ₄ y N ₂ O por manejo de estiércol	191
Cuadro 5.18	Incertidumbres por simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH ₄ y N ₂ O por manejo de estiércol.	193

Cuadro 5.19	Emisión de CH ₄ por quemas en tierras de cultivo y pastizales en Costa Rica .	195
Cuadro 5.20	Emisión de N ₂ O por quemas en tierras de cultivo y pastizales en Costa Rica.	196
Cuadro 5.21	Información básica para las categorías 3.C.1b y 3.C.1c	196
Cuadro 5.22	Datos de actividad del 2017 para las categorías 3.C.1b y 3.C.1c	197
Cuadro 5.23	Datos de actividad del 2017 para las categorías 3.C.1b y 3.C.1c	197
Cuadro 5.24	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones de CH ₄ y N ₂ O por quemas en cultivos y pastizales	197
Cuadro 5.25	Incertidumbres para la simulación de Monte Carlos para las emisiones de CH ₄ y N ₂ O por quemas en cultivos y pastizales	198
Cuadro 5.26	Emisión de CO ₂ derivado de la aplicación de CaCO ₃ en los suelos agrícolas en Costa Rica	201
Cuadro 5.27	Información básica para la categoría 3.C.2.	202
Cuadro 5.28	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones de CO ₂ por encalado	202
Cuadro 5.29	Emisión de N ₂ O proveniente de diferentes cultivos y pasturas en Costa Rica	205
Cuadro 5.30	Información básica para la categoría 3.C.4.	205
Cuadro 5.31	Datos de actividad para la categoría 3.C.4	207
Cuadro 5.32	Incertidumbres por propagación de error para las emisiones de N ₂ O de la categoría 3.C.4.	207
Cuadro 5.33	Datos para la simulación de Monte Carlo de la categoría 3.C.4	208
Cuadro 5.34	Emisión de CH ₄ , proveniente del arroz anegado en Costa Rica	210
Cuadro 5.35	Información básica para la categoría 3.C.7.	211
Cuadro 5.36	Incertidumbres para las emisiones de CH ₄ de la categoría 3.C.7	212
Cuadro 5.37	Emisiones de carbono negro en el sector agricultura en Costa Rica en el 2017	215
Cuadro 6.1	Categorías estimadas en el sector Silvicultura y Otros Usos de la Tierra	217
Cuadro 6.2	Reservorios de carbono considerados en la estimación de las emisiones y absorciones de GEI para el sector FOLU. Fuente: IPCC, 2006	218
Cuadro 6.3	Emisiones (+) y absorciones (-) del sector Silvicultura y otros usos de la tierra (en Gg de CO ₂ eq) para inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	219
Cuadro 6.4	Reporte de emisiones y remociones de GEI, métodos de cálculo y factores de emisión empleados en el sector FOLU	221
Cuadro 6.5	Definición de las categorías, subcategorías y estratos empleados para la clasificación de las tierras forestales.	222
Cuadro 6.6	Definición de las categorías y subcategorías empleadas en la clasificación de las tierras de cultivo	222

Cuadro 6.7	Definición de las categorías, subcategorías y estratos empleadas en la clasificación de otras tierras	223
Cuadro 6.8	Procesos empleados en la clasificación de las tierras del sector FOLU para el INGEI de Costa Rica 1990-2017. Fuente: MINAE, 2016	224
Cuadro 6.9	Tierras forestales: balance de emisiones y absorciones de GEI (Gg CO ₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2017.	225
Cuadro 6.10	Balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) por estrato de la subcategoría de tierras forestales que permanecen como tales para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	226
Cuadro 6.11	Balance de emisiones y absorciones de los bosques secundarios que permanecieron como tales para los años de INGEI de Costa Rica	227
Cuadro 6.12	Balance de emisiones y absorciones de GEI (Gg CO ₂ eq) de las plantaciones forestales por especie en Costa Rica	228
Cuadro 6.13	Balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) de las pérdidas por disturbios naturales según bosque secundario y plantaciones forestales de Costa Rica	230
Cuadro 6.14	Balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) de las tierras convertidas en tierras forestales según tipo de bosque de Costa Rica.	231
Cuadro 6.15	Datos paramétricos de la biomasa arriba de suelo para bosques primarios y secundarios por tipo de bosque	235
Cuadro 6.16	Datos paramétricos del crecimiento de la biomasa arriba de suelo para plantaciones forestales por especie en Costa Rica	236
Cuadro 6.17	Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en las tierras forestales	237
Cuadro 6.18	Tierras de cultivo: balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) por subcategoría, serie 1990-2017.	241
Cuadro 6.19	Balance de emisiones y absorciones de GEI (Gg CO ₂ eq) de las tierras convertidas en tierras de cultivo para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	242
Cuadro 6.20	Balance de emisiones y absorciones de GEI (Gg CO ₂) de las tierras convertidas en tierras de cultivos anuales por tipo de bosque en Costa Rica .	243
Cuadro 6.21	Balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) de las tierras convertidas en tierras de cultivos permanentes por tipo de bosque para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	244
Cuadro 6.22	Datos paramétricos de la biomasa aérea utilizados para cultivos anuales y permanentes.	245
Cuadro 6.23	Datos paramétricos de la materia muerta y hojarasca utilizados para cultivos permanentes.	245
Cuadro 6.24	Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en las tierras de cultivo.	246

Cuadro 6.25	Pastizales: balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) por subcategoría, serie 1990-2017.	249
Cuadro 6.26	Balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) de las tierras convertidas en pastizales para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica .	249
Cuadro 6.27	Balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) de los bosques primarios convertidos en pastizales por tipo de bosque para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	251
Cuadro 6.28	Balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) de los bosques secundarios convertidos en pastizales por tipo de bosque para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica.	251
Cuadro 6.29	Dato paramétrico de la biomasa aérea y subterránea utilizado para pastizales	252
Cuadro 6.30	Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en los pastizales	253
Cuadro 6.31	Humedales: balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg) por subcategoría, serie 1990-2017.	256
Cuadro 6.32	Emisiones de metano (Gg) de las tierras inundadas para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	256
Cuadro 6.33	Incertidumbre de propagación del error para las emisiones generadas en las tierras inundadas.	258
Cuadro 6.34	Incendios forestales: emisiones por gas en la serie 1990-2017	259
Cuadro 6.35	Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en las tierras forestales	261
Cuadro 6.36	Productos de madera recolectada provenientes de plantaciones forestales: balance de emisiones y absorciones de CO ₂ eq (Gg), serie 1990-2017	263
Cuadro 6.37	Datos paramétricos empleados en la estimación del balance de GEI para productos de madera recolectada	265
Cuadro 6.38	Tasas de descomposición utilizadas en la elaboración aporte de PMR en Costa Rica	265
Cuadro 6.39	Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en las tierras forestales	266
Cuadro 6.40	Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en el sector silvicultura y otros usos de la tierra en el 2017.. . . .	268
Cuadro 6.41	Emisiones de otros gases y carbono negro en el sector FOLU en 2017	269
Cuadro 7.1	Categorías estimadas en el sector residuos	271
Cuadro 7.2	Potenciales de calentamiento global (PCG) utilizados.	271
Cuadro 7.3	Emisiones del sector Residuos (en Gg de CO ₂ eq) para inventarios nacionales de GEI de Costa Rica	272
Cuadro 7.4	Emisiones debidas al tratamiento de residuos sólidos	274

Cuadro 7.5 Información introductoria para la categoría 4.A	275
Cuadro 7.6 Valores de DOC utilizados en la estimación de las emisiones	277
Cuadro 7.7 Valores para la constante de reacción, k	277
Cuadro 7.8 Factores de corrección de metano	277
Cuadro 7.9 Datos de población y generación per cápita de residuos	278
Cuadro 7.10 Disposición final de los residuos sólidos	279
Cuadro 7.11 Datos sobre segregación de los residuos sólidos municipales	279
Cuadro 7.12 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones	280
Cuadro 7.13 Emisiones debidas al compostaje (4.B)	282
Cuadro 7.14 Información introductoria para la categoría 4.B	282
Cuadro 7.15 Factores de emisión para la fabricación de compost	283
Cuadro 7.16 Datos de materia orgánica procesada para fabricación de compost.	284
Cuadro 7.17 Incertidumbre de los parámetros de la categoría 4.B	284
Cuadro 7.18 Emisiones para la categoría 4.C Incineración abierta de residuos	287
Cuadro 7.19 Información introductoria para la categoría 4.C	287
Cuadro 7.20 Parámetros utilizados para la estimación de emisiones de CO ₂ de la quema abierta de residuos.	288
Cuadro 7.21 Factores de emisión de metano y óxido nitroso por quema abierta de residuos	289
Cuadro 7.22 Datos de actividad para la categoría 4.C	289
Cuadro 7.23 Incertidumbres para las estimaciones de GEI de la quema abierta de residuos (4.C)	290
Cuadro 7.24 Recálculos para la categoría 4.C incineración y quema abierta de residuos	292
Cuadro 7.25 Emisiones para la categoría 4.D Tratamiento de aguas residuales.	293
Cuadro 7.26 Información introductoria para la categoría 4.D.	294
Cuadro 7.27 Parámetros utilizados en la estimación de emisiones de metano de aguas residuales domésticas	295
Cuadro 7.28 Parámetros y factor de emisión para estimar emisiones de N ₂ O de aguas residuales domésticas	296
Cuadro 7.29 Parámetros para la estimación de emisiones del tratamiento de aguas industriales.	297
Cuadro 7.30 Datos de actividad para las emisiones de las aguas residuales industriales.	298
Cuadro 7.31 Incertidumbres por propagación del error para la categoría 4.D	298
Cuadro 8.1 Mejoras realizadas en el ciclo de inventario 1990-2017	305

Lista de abreviaciones

AYA	Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
CH ₄	Metano
CENCE	Centro Nacional de Control de la Energía
CMNUCC	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CO ₂	Dióxido de carbono
CORFOGA	Corporación para el Fomento de la Gandería Bovina
COVDM	Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del Metano
DA	Dato de Actividad
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
DGAC	Dirección General de Aviación Civil
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EDGAR	Base de Datos de Emisiones Globales para la Investigación de la Atmósfera
EMEP	Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación
FE	Factor de Emisión
GEA	Geothermal Energy Association
GEI	Gas de Efecto Invernadero
HFCs	Hidrofluorocarbonos
ICE	Instituto Costarricense de electricidad
IEA	Agencia Internacional de Energía
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
INGEI	Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
JAPDEVA	Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica de Costa Rica
MINAE	Ministerio de Ambiente y Energía
MOPT	Ministerio de Obras Públicas y Transporte
N ₂ O	Óxido Nitroso
RECOPE	Refinadora Costarricense de Petróleo
RSM	Residuos sólidos municipales
SAO	Sustancias que agotan el ozono
SEDS	Sitios de Eliminación de Desechos Sólidos
SEPSE	Secretaría de Planificación del Subsector Energía

Unidades y medidas requeridas para la comprensión adecuada de este documento

Prefijos de las unidades del Sistema Internacional de Unidades

Factor de multiplicación	Abreviación	Nombre	Símbolo
1000000000000000	10 ¹⁵	pera	P
1000000000000	10 ¹²	tera	T
1000000000	10 ⁹	giga	G
1000000	10 ⁶	mega	M
1000	10 ³	kilo	k
100	10 ²	hecto	h
10	10 ¹	deca	D
0,100000	10 ⁻¹	deci	d
0,010000	10 ⁻²	centi	c
0,001000	10 ⁻³	mili	m
0,000001	10 ⁻⁶	micro	μ

Unidades y símbolos

Unidad	Símbolo
Grados Celsius	°C
Año	a
Gramo	g
Toneladas	t
Metro cúbico	m ³
Julio	J
Litro	l
Moles	mol

Conversiones

Unidad	Equivalencia SI
1 tonelada (t)	1 Megagramo
1 kilotonelada (kt) / 1000 toneladas	1 Gigagramo

Abreviaciones para la lectura de los Cuadros denominados “Introducción a la categoría”

Como buena práctica adoptada de los INGEI de otros países, en este informe se incluye al finalizar la descripción de cada una de las categorías un cuadro que brindará información con claves para resumir la estimación realizada en esa categoría. Las columnas de ese cuadro serán: Gas, Método, Fuente de dato de actividad y Factor de Emisión, a continuación, se brinda el significado de cada una de las claves usadas para cada columna.

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
	D = Por defecto IPCC		
	MR = Método de Referencia	M = Modelo	D = IPCC por defecto
CO ₂	Nivel 1 = Nivel 1 del IPCC	EP = Específico de planta	= Específico
CH ₄	Nivel 2 = Nivel 2 del IPCC	= Estadísticas Nacionales	EP = de planta
N ₂ O	Nivel 3 = Nivel 3 del IPCC	EN = Estadísticas Regionales	CS = Específico del país
	CS = Específico del País	EI = Estadísticas Internacionales	M = Modelo
	M = Modelo		

1.1. Información de base sobre los inventarios de gases de efecto invernadero

En junio de 1992 se llevó a cabo en Río de Janeiro, Brasil, la Convención Marco sobre Cambio Climático, en la cual, los países firmantes se comprometieron, entre otras cosas, a realizar inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) entró en vigor en marzo de 1994. Costa Rica ratificó la Convención el 13 de junio de 1994 y, en cumplimiento a los compromisos adquiridos, ha venido realizando inventarios de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero por fuentes y sumideros.

El presente inventario tuvo como objetivo estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en Costa Rica para los años comprendidos en el período 1990-2017 y se presenta en 2021. Además, forma parte del proyecto: **Cuarta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.**

Este Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (en adelante INGEI) revisa y actualiza ediciones anteriores del mismo, estimándose emisiones que ocurrieron en el país para todos los años analizados de cinco grupos o especies de gases con efecto invernadero directo: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). En el caso de los perfluorocarbonos (PFC) y del trifluoruro de nitrógeno (NF₃) no se ha hallado evidencia de su emisión en el país. Se incluyen también las emisiones de los siguientes gases con efecto invernadero indirecto: monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x) y carbono negro (BC).

El presente informe ha sido dividido en cinco sectores: Energía, Procesos industriales y uso de otros productos (IPPU, por sus siglas en inglés), Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra (FOLU, por sus siglas en inglés) y Residuos. Para llevar a cabo los cálculos se utilizó como base metodológica las *Directrices del IPCC de 2006* para elaboración de inventarios nacionales de emisiones; además, se utilizó el *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Este informe está estructurado siguiendo las disposiciones de la CMNUCC denominadas: “UNFCCC reporting guidelines on annual inventories for Parties included in Annex I to the Convention”, por lo que todas las categorías del sector que ocurren u ocurrieron en el país en el período mencionado tienen la misma presentación, incluyendo: descripción de la categoría, metodología, incertidumbre y coherencia temporal, control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría, recálculos y plan de mejora.

1.2. Resumen de las emisiones del 2017

Para el año 2017, las emisiones netas fueron de 11509,2 Gg de dióxido de carbono equivalente excluyendo CO₂ proveniente de biomasa, mientras que las emisiones excluyendo FOLU fueron de 14477,6 Gg de CO₂ equivalente. En el cuadro I.1 se muestran las emisiones de CO₂ equivalente por sector y totales por gas para el 2017. Por tipo de gas, en 2017 se emitieron 5582,6 Gg de CO₂ neto, 204,5 Gg de CH₄, 3,21 Gg de N₂O, 0,36 Gg de HFCs y 0,00002 Gg de SF₆. En cada capítulo sectorial se presentan las emisiones por gas precursor según corresponda.

De las emisiones brutas (excluyendo FOLU) el sector que más contribuye es energía con el 55,1 % mientras que IPPU es el que menos representa con el 9,6 %.

Cuadro I.1. Emisiones de GEI para el año 2017

Sector	Gas	Emisiones (Gg)
Energía	CO ₂ eq	7981,6
IPPU	CO ₂ eq	1394,7
Agricultura	CO ₂ eq	2962,8
FOLU	CO ₂ eq	-2968,4
Residuos	CO ₂ eq	2138,5
Total sin FOLU	CO ₂	8655,8
	CH ₄	200,3
	N ₂ O	3,15
	HFC	0,36
	SF ₆	0,00002
	CO ₂ eq	14477,6
Total con FOLU	CO ₂	5582,6
	CH ₄	204,5
	N ₂ O	3,21
	HFC	0,36
	SF ₆	0,00002
	CO ₂ eq	11509,2

1.1. Antecedentes sobre inventarios nacionales de GEI y cambio climático

En el artículo 4 de la CMNUCC se manifiesta que las Partes deberán “elaborar, actualizar periódicamente, publicar y facilitar a la Conferencia de las Partes, de conformidad con el artículo 12, inventarios nacionales de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal, utilizando metodologías comparables que habrán de ser acordadas por la Conferencia de las Partes”.

Como país firmante de la Convención, Costa Rica inició el proceso de elaboración de inventarios nacionales y ha publicado seis inventarios utilizando las diferentes metodologías que para tal fin ha establecido el Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC). Además, estos informes han sido presentados en documentos independientes desde la primera publicación para brindar mayor detalle sobre las estimaciones.

El primer INGEI de Costa Rica contenía las emisiones del año 1990, fue elaborado por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en 1996 como parte del proyecto: “Mejoramiento de la Capacidad Nacional para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica”

El segundo INGEI fue compilado por el IMN en el año 2000 como parte del proyecto: “Mejoramiento de la Capacidad Nacional para la Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica” e incluyó las emisiones de 1996.

El tercer INGEI de Costa Rica incluyó las emisiones del 2000 y del 2005, fue elaborado por el IMN en el 2009 en el marco de la “Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”.

El cuarto INGEI fue estimado en el año 2014 por el IMN, se compilaron las emisiones del año 2010 y formó parte de la “Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”.

El INGEI del 2012 fue el quinto informe elaborado por el IMN, el cual fue parte del “Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático” y se publicó en el 2015.

En el caso del INGEI previo (sexto) incorporó las estimaciones del 2015 y formó parte del “Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”. Ese inventario fue publicado en el año 2019.

El presente documento incluye el Informe del Inventario Nacional por fuentes de gases de efecto invernadero y absorción por sumideros (INGEI) para el año 2017 y por primera vez se presenta la serie histórica desde 1990; además, se revisaron y recalcularon todas las estimaciones realizadas anteriormente. Este informe también se encuentra dentro de la “Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático”.

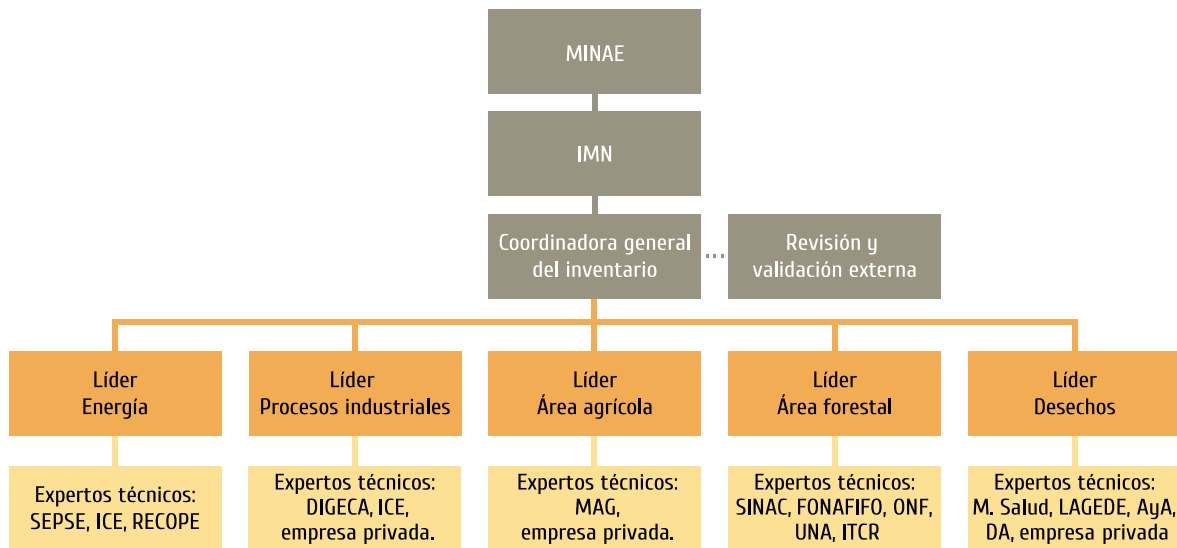


Figura 1.1 Estructura de los arreglos institucionales para elaboración del inventario de GEI.

1.2. Arreglos institucionales en la preparación del INGEI de Costa Rica

El equipo gestor del inventario de emisiones por fuentes y absorción por sumideros de GEI de Costa Rica está integrado por una coordinadora, quien a su vez es la encargada del control y garantía de calidad general del INGEI, así como del proceso de archivo; y líderes técnicos responsables de cada uno de los sectores del inventario.

Los datos de actividad se obtienen de una amplia evaluación y apoyo de diferentes fuentes de información que incluyen instituciones públicas y empresa privada. Los expertos técnicos apoyan la labor de recolección y generación de información, así como la escogencia de factores de emisión.

El proceso de revisión y validación externa se ha realizado con expertos en la revisión de inventarios de gases de efecto invernadero, en muchos casos, expertos y autores de las *Directrices del IPCC*.

En la Figura 1.1 se presenta la estructura establecida para la elaboración del Inventario de GEI.

1.3. Proceso de preparación del INGEI de Costa Rica

El proceso de elaboración del INGEI se lleva a cabo como se muestra en la figura a continuación y se detalla más adelante.

- **Definición de la metodología:** en esta etapa se analizan los resultados del inventario anterior y los planes de mejora propuestos para definir posibles cambios metodológicos, incorporación de categorías nuevas y recálculos.
- **Solicitud de datos:** se realiza la solicitud formal de datos a las diferentes entidades públicas y privadas.
- **Organización de la información:** conforme se va recibiendo la información, esta se va organizando para que se adapte a las herramientas de cálculo usadas por categoría por sector.

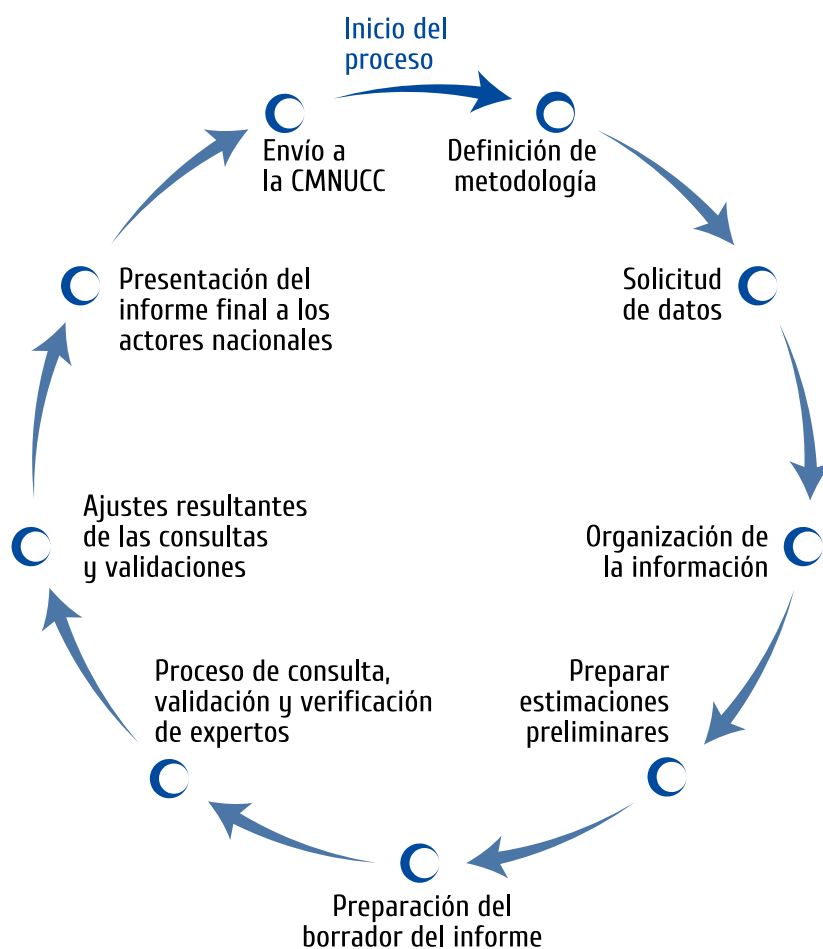


Figura 1.2 Ciclo de inventario de Costa Rica.

- **Preparar estimaciones preliminares:** se realiza la estimación de las emisiones siguiendo lo establecido en la definición de la metodología.
- **Preparación del borrador del informe:** una vez que están listas las estimaciones, se realiza un borrador de informe de inventario en donde se encuentran agrupadas todas estimaciones por categoría, sector, tipo de gas y como dióxido de carbono equivalente. Además, en este informe se incluye la descripción de las categorías y su metodología de cálculo.
- **Revisión interna:** el equipo de inventario realiza una revisión del INGEI, la cual se aplica a todos los sectores estimados por los diferentes expertos. Esto como parte del proceso de control de calidad.
- **Ajustes:** se realizan los cambios o ajustes identificados en la etapa anterior tanto en lo relacionado a estimaciones como en lo que concierne al informe de inventario.
- **Presentación del informe final y resultados:** se realiza la publicación oficial del documento INGEI, la misma incluye una presentación detallada de los resultados y proceso de elaboración de este.
- **Envío a la CMNUCC:** de manera simultánea con la fase anterior se envía el INGEI a la CMNUCC para su registro y publicación.

1.4. Descripción general de la metodología y fuentes de información utilizadas

1.4.1. Descripción de la metodología

En la elaboración del INGEI para el año 2017 (serie histórica 1990-2017), se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006* para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y la información suministrada en las directrices para declarar los precursores.

Las emisiones de GEI se evaluaron para los cuatro sectores de emisión definidos por el IPCC: Energía; Procesos Industriales y Uso de Productos; Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra; y Residuos.

Se evaluaron los siguientes gases: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos volátiles diferentes del metano (NMVOC) y dióxido de azufre (SO₂). Adicionalmente se evaluó el carbono negro.

En este inventario se contabilizaron las emisiones por cada GEI y en unidades de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) para compararlas entre sí y medir la contribución de cada fuente al total nacional de emisiones. Los potenciales de calentamiento global utilizados fueron los indicados en el *Segundo Informe de Evaluación del IPCC* para un horizonte de 100 años (Cuadro 1.1).

Los niveles metodológicos empleados en cada fuente se observan en el cuadro 1.2, en donde se incorpora las directrices metodológicas empleadas (*Directrices del IPCC de 2006* o *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*). En cada una de las secciones en este informe se brindarán más detalles metodológicos.

1.4.2. Principales fuentes de datos

Las fuentes de datos de actividad de cada categoría incluida en este inventario se detallarán más adelante, sin embargo, a continuación, se brindan las fuentes principales por sector:

En el sector energía se usan datos de actividad en su mayoría provenientes del balance nacional de energía, también datos de consumo obtenidos directamente de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) y datos de producción eléctrica del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE).

En el sector procesos industriales y uso de productos se usaron datos de actividad de empresas privadas, de estadísticas nacionales y datos de importaciones del Ministerio de Hacienda.

En el sector agricultura los datos de actividad provienen de corporaciones agrícolas, datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y datos del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

Cuadro 1.1 Potenciales de calentamiento global usados en el inventario 2017

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento global (PCG)
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC-32	650
HFC-125	2800
HFC-134a	1300
HFC-143a	3800
HFC-152	140
HFC 23	11700
SF ₆	23900

Cuadro 1.2 Niveles metodológicos utilizados en el inventario 2017

Categoría	Subcategoría	Fuente	Metodología	Nivel	Factores de emisión
Energía	1.A.1 Industrias de la energía	1.A.1a Producción de electricidad y calor	IPCC 2006	1 y 2	D y CS
		1.A.1b Refinación de petróleo		1 y 2	D y CS
		1.A.1c Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía		1 y 2	D y CS
	1.A.2 Manufactura e industria de la construcción	Todas las industrias	IPCC 2006	1 y 2	D y CS
	1.A.3 Transporte	1.A.3a.i Aviación de cabotaje	IPCC 2006	1 y 2	D y CS
		1.A.3b Transporte terrestre		1 y 2	
		1.A.3c Ferrocarriles		1 y 2	
		1.A.3d Navegación marítima y fluvial		1 y 2	
		1.A.3e Otro transporte		1 y 2	
		1.A.3a.i Aviación civil internacional	EMEP/ CORINAIR 2019	3A	D
	1.A.4 Otros sectores	Todas las subcategorías	IPCC 2006	1 y 2	D y CS
	1.B Emisiones fugitivas de combustibles	1.B.2a. Petróleo	IPCC 2019	1	D
		1.B.3. Otras emisiones provenientes de la producción de energía	Propia	1	D internacional
	Procesos industriales y uso de productos	2.A Industria de los minerales	2.A.1. Producción de cemento	IPCC 2006	2 y 3
2.A.2. Producción de cal			2		D
2.A.3. Producción de vidrio			1		D
2.A.4b Otros usos de carbonatos de sodio			1		D
2.B Industria química		2.B.2. Producción de ácido nítrico	IPCC 2006	1	D
		2.B.5. Uso de carburo de calcio	IPCC 2006	1	D
2.D.1 Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes		2.D.1. Uso de lubricantes	IPCC 2006	2	D
		2.D.2. Uso de ceras de parafina	IPCC 2006	1	D
2.F Uso de productos sustitutos de las SAOs		2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado	IPCC 2019	2a	D y CS
		2.F.3. Protección contra incendios	IPCC 2006	1	D
		2.F.4. Aerosoles	IPCC 2006	1	D
		2.F.6. Otras aplicaciones: procesos de transferencia de flúor a vidrio	IPCC 2006 / Propia	1	D
2.G Manufactura y uso de otros productos		2.G.1b. Uso de SF ₆ en equipos eléctricos	IPCC 2006 / Propia	1	CS

Cuadro 1.2. Continuación.

Categoría	Subcategoría	Fuente	Metodología	Nivel	Factores de emisión
Agricultura	3.A Ganado	3.A.1. Fermentación entérica	IPCC 2019	1 y 2	D y CS
		3.A.2. Manejo de estiércol	IPCC 2019	1 y 2	D y CS
	3.C Fuentes agregadas y fuentes no CO ₂ de la tierra	3.C.1b. Emisiones del quemado de biomasa en tierras de cultivo	IPCC 2006	1 y 2	D
		3.C.1c. Emisiones del quemado de biomasa en pastizales	IPCC 2006	1 y 2	D
		3.C.2. Encalado	IPCC 2006	1	D
		3.C.4. Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados	IPCC 2019	1 y 2	D y CS
		3.C.7. Cultivo de arroz	IPCC 2019	1 y 2	D y CS
Silvicultura y otros usos de la tierra	3.B.1 Tierras forestales	3.B.1a Tierras forestales que permanecen como tales	IPCC 2006	1 y 2	D y CS
		3.B.1b Tierras convertidas en tierras forestales	IPCC 2006	1 y 2	D y CS
	3.B.2 Tierras de cultivo	3.B.2b Tierras convertidas en tierras de cultivo	IPCC 2006	1, 2	D y CS
	3.B.3 Pastizales	3.B.3b Tierras convertidas en pastizales	IPCC 2006	1, 2	D y CS
	3.B.4 Humedales	3.B.4bII Tierras inundadas que permanecen como tales	IPCC 2006	1	D
	3.C Fuentes agregadas y fuentes no CO ₂ de la tierra	3.C.1a. Quemados de biomasa forestal	IPCC 2006	2	D y CS
	3.D.1 Productos de madera recolectada	3.D.1 Productos de madera	IPCC 2006	2	D y CS
Residuos	4.A. Eliminación de residuos sólidos	Todas las subcategorías	IPCC 2006	2	D y CS
	4.B. Tratamiento biológico de residuos sólidos	Todas las subcategorías	IPCC 2006	1	D
	4.C. Incineración e incineración abierta de residuos	Incineración abierta	IPCC 2006	1	D
	4.D. Tratamiento y eliminación de aguas residuales	Aguas residuales domésticas	IPCC 2006	1	D
Aguas residuales industriales		IPCC 2006	1	D	

Para el sector silvicultura y otros usos de la tierra los datos provienen del MINAE y corporaciones forestales.

Por último, en el sector residuos se usan datos del Ministerio de Salud, Municipalidades, empresas gestoras de residuos privadas, Acueductos y Alcantarillados, entre otros.

1.5. Análisis de categorías clave

Las categorías principales de fuente constituyen la mayor contribución de emisiones nacionales. También pueden ser las que con el tiempo tengan gran influencia en las tendencias de emisiones.

Para el análisis de categorías clave del INGEI de Costa Rica se utilizó el Método 1 establecido en el Capítulo 4, Volumen 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* y en el Capítulo 4, Volumen 1 del *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Este método evalúa la influencia que ejercen diversas categorías de fuentes y sumideros sobre el nivel y posiblemente la tendencia del inventario nacional de gases de efecto invernadero. Cuando hay estimaciones de inventario disponibles para varios años, constituye una buena práctica evaluar el aporte de cada categoría tanto al nivel como a la tendencia del inventario nacional.

En cuanto al Método 2, se espera incorporarlo para el próximo ciclo de inventario y así considerar la influencia que podría tener la incertidumbre en la definición de las categorías principales del INGEI de Costa Rica.

En la evaluación del nivel (N1) se determina la contribución que tienen las emisiones de cada una de las categorías y los sectores a las emisiones totales, mientras que en la evaluación de tendencia (T1), se determina la contribución general de las emisiones del inventario a través del tiempo. Esta última evaluación permite identificar las fuentes que tienen una tendencia diferente de la tendencia general del inventario, multiplicado por el resultado de la evaluación por nivel para lograr una ponderación adecuada. Por lo tanto, una categoría principal de fuente será aquella cuya tendencia difiera significativamente de la tendencia total, ponderada por el nivel de emisiones de la correspondiente categoría de fuente. Para la evaluación de nivel se utilizó lo establecido en las *Directrices del IPCC de 2006*, mientras que para la tendencia se utilizó el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. En ambos tipos de evaluaciones se consideran categorías claves las que en orden descendente y sumadas de manera acumulativa contabilicen 95 % del total.

Costa Rica ha identificado las categorías principales de fuente y sumideros presentadas en el cuadro 1.3, en donde se utiliza el último año de inventario (2017) y la tendencia se evaluó con respecto a 1990.

1.6. Control y garantía de la calidad

Para el aseguramiento y control de calidad se siguieron las *Directrices del IPCC de 2006* contemplando procedimientos como: documentación de datos, proceso de archivo a las fuentes de datos, así como a los resultados. También se realizó una verificación de que los valores contenidos en las hojas de cálculo coincidieran con los valores reportados en el informe, al igual que en los cuadros de este.

Se trabaja en la mejora continua tanto de los datos de actividad como de los factores de emisión para ir evolucionando hacia el nivel 3 en todas las categorías. Para ello, se consideran los resultados del análisis de categorías clave en la escogencia de los estudios a realizar.

Para el control de calidad de los datos de actividad donde es posible se realiza un control cruzado con los valores aportados por las diferentes instancias.

El procedimiento de gestión y control de calidad incluye la documentación de datos tanto en formato impreso como electrónico que son guardados en un archivo en el Instituto Meteorológico Nacional.

Cuadro 1.3 Fuentes principales de emisión de gases de efecto invernadero para Costa Rica de acuerdo con la evaluación de nivel y tendencia

Código IPCC	Categoría del IPCC	GEI	Criterio de identificación
1.A.2	Industrias de manufactura y construcción	CO ₂	N1, T1
1.A.3b	Transporte terrestre	CO ₂	N1, T1
1.A.3e	Otro transporte	CO ₂	N1
1.A.4a	Comercial e institucional	CO ₂	N1
1.A.4b	Residencial	CO ₂	N1
1.A.4c	Agricultura, silvicultura y pesca	CO ₂	N1
2.A.1	Producción de cemento	CO ₂	N1, T1
2.F.1	Refrigeración y aire acondicionado	HFC	N1, T1
3.A.1	Fermentación entérica	CH ₄	N1, T1
3.A.2	Gestión del estiércol	N ₂ O	N1
3.B.1a	Tierras forestales que permanecen como tales: crecimiento de bosques secundarios	CO ₂	N1, T1
3.B.1a	Tierras forestales que permanecen como tales: crecimiento de plantaciones forestales	CO ₂	N1
3.B.1a	Tierras forestales que permanecen como tales: pérdidas por disturbios naturales	CO ₂	N1, T1
3.B.1a	Tierras forestales que permanecen como tales: pérdidas por remoción de madera	CO ₂	N1, T1
3.B.1b	Tierras convertidas en tierras forestales	CO ₂	N1, T1
3.B.2bi	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo: bosques primarios convertidos en cultivos anuales	CO ₂	N1, T1
3.B.2bi	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo: bosques secundarios convertidos en cultivos anuales	CO ₂	N1
3.B.2bi	Tierras forestales convertidas en tierras de cultivo: bosques primarios convertidos en cultivos permanentes	CO ₂	T1
3.B.3bi	Tierras forestales convertidas en pastizales: bosques primarios convertidos en pastizales	CO ₂	N1, T1
3.B.3bi	Tierras forestales convertidas en pastizales: bosques secundarios convertidos en pastizales	CO ₂	T1
3.C.4	Emisiones de N ₂ O en suelos	N ₂ O	N1
3.C.7	Cultivo de arroz	CH ₄	N1
3.D.1	Productos de madera	CO ₂	N1, T1
4.A	Eliminación de desechos sólidos	CH ₄	N1, T1
4.D.1	Tratamiento de aguas residuales domésticas	CH ₄	N1, T1

El análisis de tendencias ha servido para determinar incongruencias en las estimaciones, posibles errores o bien, actividades con un patrón de uso variable.

Se realizó un proceso de verificación oficial del inventario. Los resultados se validaron con expertos de cada sector.

Para este inventario no se realizó una verificación independiente. No obstante, las consideraciones y recomendaciones realizadas en verificaciones anteriores fueron puestas en práctica con el fin de mejorar y afinar la calidad del inventario.

Dentro de las actividades generales de control de calidad que se realizan se encuentran las siguientes:

- Revisión de transcripciones en el ingreso de datos.
- Revisión de las fórmulas o modelos de estimación.
- Revisión de unidades y factores de conversión.
- Revisión de la consistencia, consistencia temporal y de la exhaustividad.
- Revisión y comparación de recálculos.
- Revisión de la estimación de la incertidumbre.
- Revisión de los capítulos del informe del INGEI.
- Revisión de categorías claves.
- Revisión de notaciones.

Con respecto a la incertidumbre, se utilizaron tanto el método 2: simulación de Monte Carlo, así como el método 1: propagación del error de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*.

1.7. Archivo

Se conserva la información referente a los datos y resultados del inventario realizado para el período 1990-2017, tanto en formato escrito como electrónico. El archivo se mantiene en el Instituto Meteorológico Nacional. Los resultados se incluyen en el Sistema Nacional de Métrica de Cambio Climático (SINAMECC).

1.8. Estimación general de la incertidumbre

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, las estimaciones de incertidumbre constituyen un elemento esencial para un inventario de emisiones exhaustivo. La estimación y reporte de las incertidumbres permiten priorizar los esfuerzos para mejorar la exactitud de los inventarios en el futuro, definir los temas específicos en los que es necesario realizar investigación a fin de enriquecer los atributos del inventario y orientar las decisiones sobre la elección de la metodología.

En el caso del INGEI 2017, las incertidumbres están asociadas tanto a los factores de emisión elegidos para cada fuente como a los datos de actividad empleados en las estimaciones.

Para el análisis de incertidumbre en el inventario se siguió el método 1 de las *Directrices del IPCC 2006* el cual consiste en aplicar la propagación del error. En el cuadro 1.4 se presentan los resultados de la evaluación de incertidumbre del inventario. Se realizó

una estimación de la incertidumbre incluyendo y excluyendo el sector silvicultura y otros usos de la tierra; además, en cada una de las categorías de este informe se incluyeron las incertidumbres usadas para las variables involucradas en las estimaciones.

Cuadro 1.4 Análisis de incertidumbre del inventario 2017

	Incertidumbre del inventario total	Incertidumbre de la tendencia
Incluyendo FOLU	20,9 %	14,6 %
Excluyendo FOLU	6,3 %	12,0 %

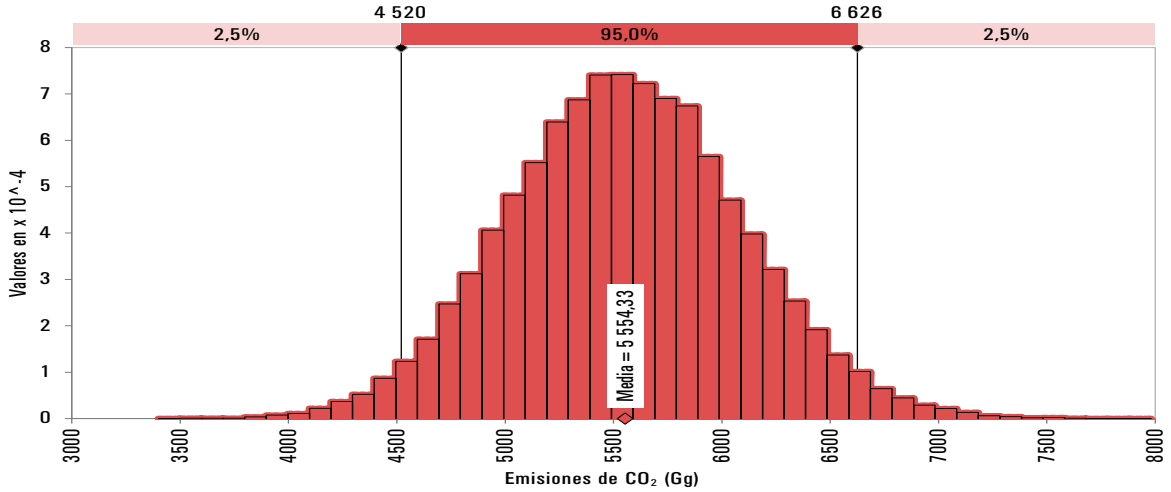


Figura 1.3 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de CO₂ de Costa Rica en 2017.

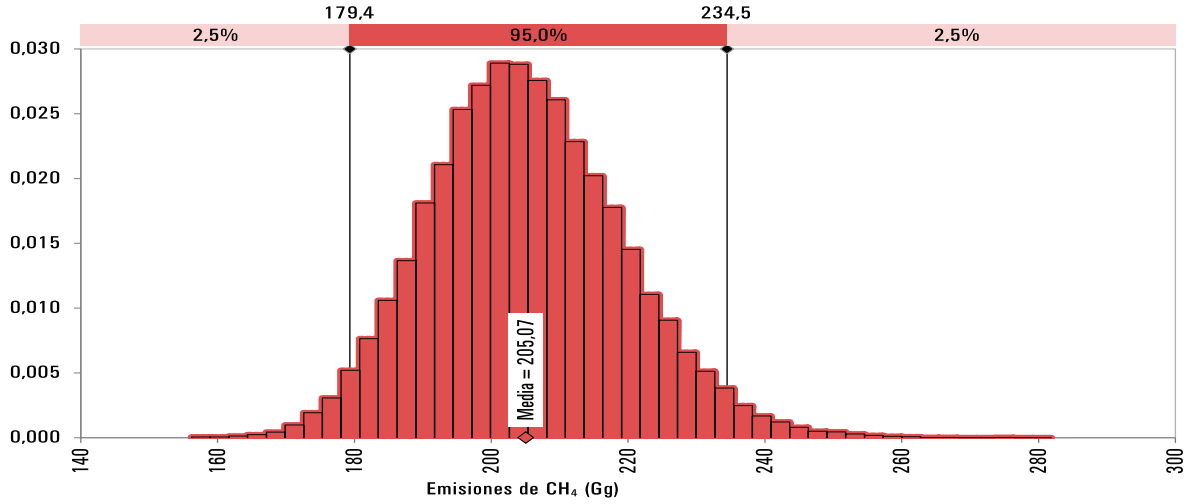


Figura 1.4 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de CH₄ de Costa Rica en 2017.

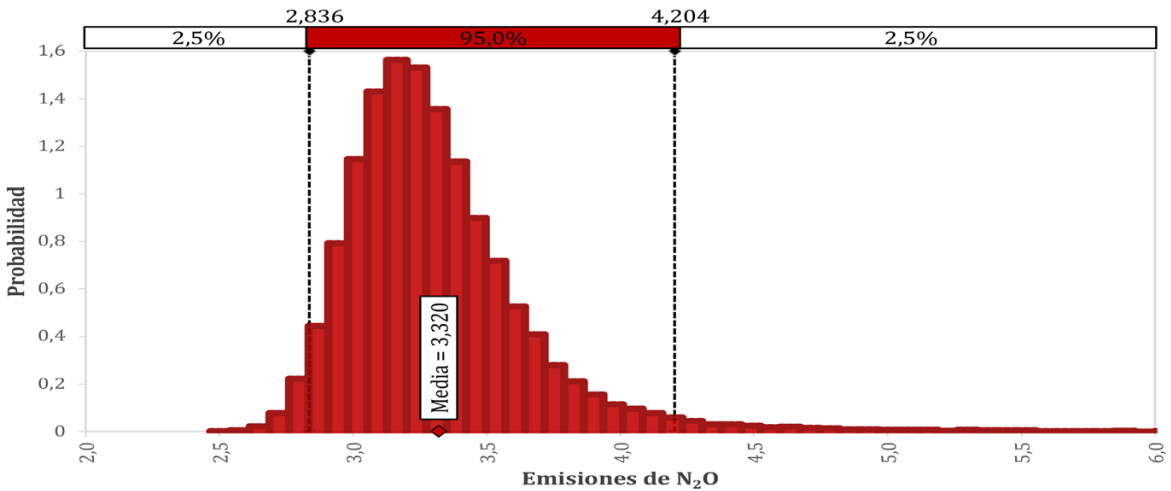


Figura 1.5 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de N₂O de Costa Rica en 2017.

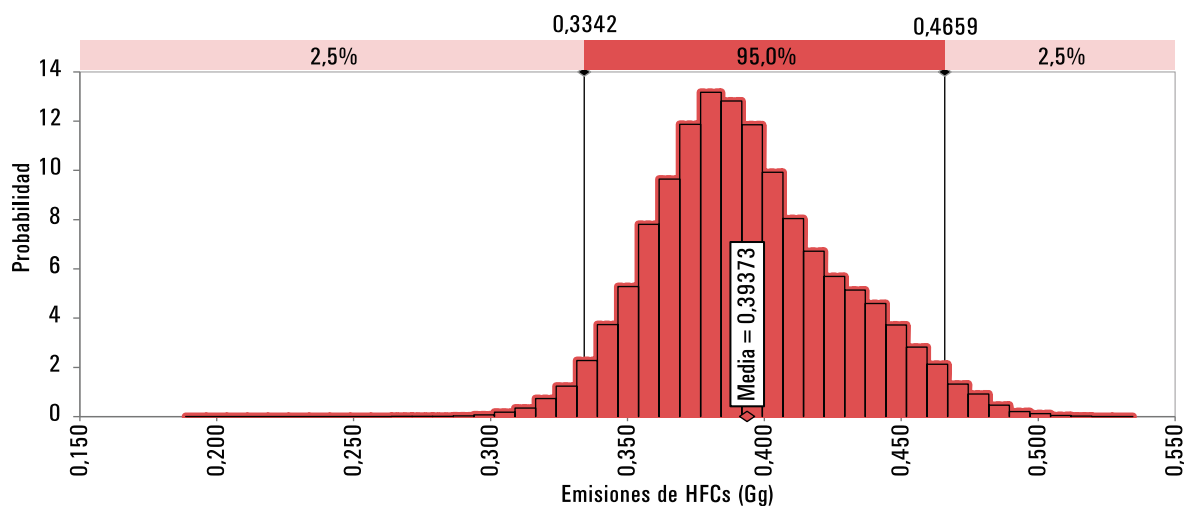


Figura 1.6 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de HFCs de Costa Rica en 2017.

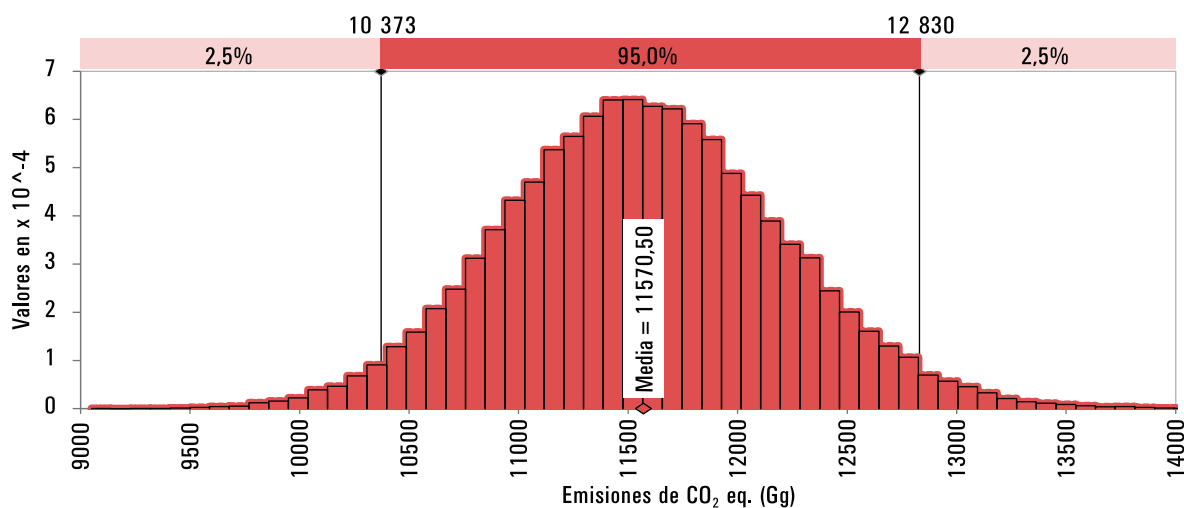


Figura 1.7 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de CO₂ equivalente de Costa Rica en 2017.

Por primera vez, en este ciclo de inventario se realizó una estimación de la incertidumbre utilizando el método de Monte Carlo. El procedimiento que se realizó de forma general se encuentra en el Anexo E. Los datos obtenidos en la simulación por gas total para el 2017 se presentan de la Figura 1.3 a la 1.7.

1.9. Evaluación general de la exhaustividad

El inventario de gases de efecto invernadero abarca todas las fuentes y sumideros, así como todos los gases que ocurren en Costa Rica y que figuran en las *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, excepto las categorías que se muestran en el cuadro 1.5. Estas se conocen que ocurren en el país pero por diversas razones aún no han sido estimadas.

Cuadro 1.5 Categorías no estimadas (NE) en INGEI 2017

Sector	Categoría del IPCC	Justificación
IPPU	2.F.2 Agentes Espumantes	Se tiene muy poco registro; sin embargo, se sabe que en Costa Rica se usaron agentes espumantes para fabricación de equipos de refrigeración. Además, hay evidencia que indica que el aporte de esos equipos al total era muy bajo y que la actividad dejó de operar en el país.
	2.G.3a Uso de N ₂ O en aplicaciones médicas	Estas emisiones se espera contabilizarlas en el próximo ciclo de inventario. Hay dificultad en la obtención de los datos de actividad debido a que no se encuentran centralizados sino por centro hospitalario.
Agricultura	3.C.5 Emisiones indirectas de N ₂ O de los suelos gestionados	Estas categorías, como se indica más adelante, se estarán trabajando en el próximo ciclo de inventario.
	3.C.6 Emisiones indirectas de N ₂ O de la gestión de estiércol	
	Carbono orgánico del suelo	No hay suficiente información ni datos concluyentes. Estudios en proceso.
FOLU	3.B.4 Humedales	- Las emisiones por burbujas de metano provenientes del sedimento a través de la columna de agua y de desgasificación debido al cambio en la presión hidrostática repentina en tierras inundadas, se excluyen del inventario debido a la escasez de factores de emisión nacionales para desarrollar estos niveles. - Se requiere avanzar en la estimación de las emisiones y absorciones de GEI provenientes de la conversión de tierras a humedales, de tal manera que evite la doble contabilidad ante la posible inclusión de estas en otras categorías.
	3.B.5 Asentamientos	Las emisiones y absorciones se consideran en equilibrio debido a que aún la información disponible de los reservorios de carbono en estas tierras es escasa.
	3.B.6 Otras tierras	Las emisiones y absorciones se consideran en equilibrio debido a que aún la información disponible de los reservorios de carbono en estas tierras es escasa.
	Carbono orgánico del suelo	Se requiere avanzar en la estimación de este reservorio de carbono en todas las categorías de uso de la tierra.
	Productos de madera recolecta provenientes de bosques, tierras de cultivo y pastizales	Aunque se estimó el aporte de PMR en plantaciones forestales, falta incluir lo correspondiente a manejo de bosque y tierras de cultivo y pastizales.
	Pastizales y tierras de cultivo que permanecen como tales	Se desconoce los datos de actividad en pastizales y tierras de cultivo que permanecen como tales para toda la serie temporal 1990-2017 que hayan tenido algún nivel de gestión en su biomasa y la materia orgánica muerta. Además, se requieren ahondar en estudios que determinen los valores de biomasa para todas las zonas de vida.
	Remoción de madera y leña en pastizales, tierras de cultivo y bosques	Aunque se estimó la cosecha en plantaciones forestales, falta incluir lo correspondiente a manejo de bosque y tierras de cultivo y pastizales.
	Tierras convertidas en tierras de cultivos y pastizales que no son tierras forestales	Se requiere avanzar en la estimación de las emisiones y absorciones de GEI provenientes de la conversión de tierras que no son tierras forestales en tierras de cultivo y pastizales.

2. TENDENCIA DE LAS EMISIONES Y ABSORCIONES DE GEI DE COSTA RICA

2.1. Emisiones agregadas e indicadores del año 2017

2.1.1. Emisiones agregadas del año 2017

El cuadro 2.1 muestra las emisiones agregadas de todos los GEI de 2017 para cada sector y la contribución relativa. Además, se muestran las emisiones de depósitos internacionales. El total de emisiones excluyendo FOLU fue de 14477,6 Gg de CO₂ eq, de los cuales más de la mitad (55,1 %) provienen del sector energía. El sector con menores emisiones fue el de IPPU con un 9,6 % del total excluyendo FOLU. Como se observa, también en el cuadro 2.1, las estimaciones netas del sector FOLU son absorciones y equivalen a un 20,5 % del total bruto de emisiones. El total nacional neto al considerar esas absorciones de FOLU fue de 11509,2 Gg de CO₂ eq.

Por tipo de gas (como CO₂ eq) se observa que el 60 % de las emisiones totales (excluyendo FOLU) son de CO₂, seguido de CH₄ con 29,1 %, mientras que el gas menos emitido es el SF₆ con 0,003 % (Figura 2.1).

Cuadro 2.1 Emisiones por gas y sector de Costa Rica en 2017

Sector	Emisiones por gas (Gg)					CO ₂ eq	Contribución (%)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFC	SF ₆		
Energía	7762,9	3,841	0,445			7981,6	55,1
IPPU	757,9	NO	NO	0,357	0,00002	1394,7	9,6
Agricultura	65,95	101,04	2,500			2962,8	20,5
Residuos	69,09	95,46	0,209			2138,5	14,8
Total sin FOLU	8655,8	200,3	3,15	0,36	0,00002	14477,6	100,0
FOLU	-3073,23	4,18	0,055			-2968,4	-20,5
Total con FOLU	5582,6	204,5	3,21	0,36	0,00002	11509,2	79,5
Transporte aéreo internacional	654,0	0,00623	0,0189			660,0	
Navegación marítima internacional	325,3	0,0294	0,00841			328,5	

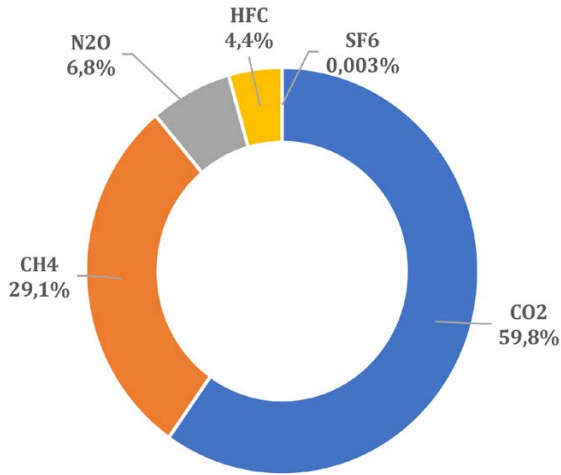


Figura 2.1 Contribución relativa por gas en el total de emisiones de 2017 excluyendo FOLU

Al analizar la contribución de las emisiones que tiene cada sector (se excluyó FOLU) por gas, se observa, en la Figura 2.2, que la mayor parte (89,7 %) del CO₂ emitido proviene del sector energía. En el caso del CH₄ la emisión se reparte de manera similar entre el sector agricultura (50,4 %) y el sector residuos (47,6 %), mientras que la mayor cantidad de N₂O emitido provienen del sector agricultura (79,2 %). En el caso de los HFC y el SF₆ se emiten únicamente en el sector IPPU.

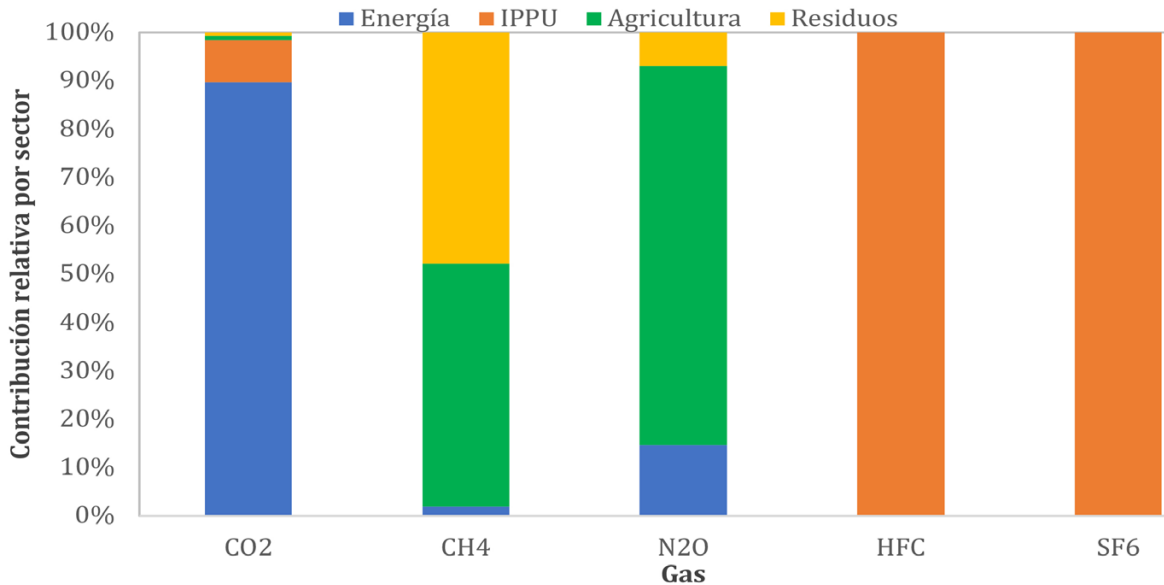


Figura 2.2 Contribuciones relativas de los sectores (excluyendo FOLU) a los GEI en 2017

2.1.2. Indicadores asociados a las emisiones

En el cuadro 2.2, se presentan algunos indicadores asociados a las emisiones de gases de efecto invernadero, con el fin de realizar consideraciones en el contexto nacional e internacional.

Cuadro 2.2 Indicadores relacionados a las emisiones GEI (incluyendo FOLU)

Indicador	2017
Toneladas de CO ₂ equivalente netas por habitante	2,33
Toneladas de CO ₂ equivalente netas por millón de dólares*	196,8
Toneladas de CO ₂ equivalente netas por km ²	225,2

* PIB nominal

2.2. Tendencia de las emisiones de GEI de Costa Rica por gas para el período 1990-2017

En el cuadro 2.3 se muestran las emisiones estimadas en este INGEI por gas para los años anteriores de inventario y los últimos seis años estimados. Las emisiones totales excluyendo FOLU para el 2017 han aumentado un 76,6 % con respecto a las de 1990. Desde el último año de inventario (2015) aumentaron un 6,4 %; mientras que en el último año crecieron 1,7 %.

Cuadro 2.3 Emisiones, en Gg, de gases de efecto invernadero en Costa Rica

Tendencia de emisiones	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO₂ (sin FOLU)	3134,5	4790,7	5403,4	6339,5	7549,1	7901,8	8255,1	8282,5	7959,2	8501,5	8655,8
CO ₂ neto (con FOLU)	32158,7	16330,9	22985,2	11679,4	11263,5	12035,0	13037,9	6903,0	8286,8	6857,4	5582,6
CH₄ (sin FOLU)	184,2	170,4	170,6	182,5	197,0	201,3	196,6	192,5	194,3	197,0	200,3
CH ₄ (con FOLU)	187,3	175,1	173,7	184,9	200,7	207,0	204,4	196,1	200,9	203,7	204,5
N₂O (sin FOLU)	3,85	3,82	2,88	2,95	3,11	3,10	3,08	3,04	3,10	3,17	3,15
N ₂ O (con FOLU)	3,89	3,90	2,91	2,96	3,15	3,22	3,26	3,08	3,22	3,31	3,21
HFC	0,0	0,0063	0,0359	0,0808	0,1676	0,1948	0,2595	0,3336	0,3652	0,3563	0,3568
SF₆	0,000026	0,000036	0,000052	0,000063	0,000073	0,000073	0,000073	0,000052	0,000081	0,000057	0,000016
CO₂ eq (sin FOLU)	8196,6	9562,8	9945,8	11196,0	12896,0	13405,6	13735,7	13850,1	13603,6	14234,5	14477,6
CO ₂ eq (con FOLU)	37300,5	21228,3	27601,2	16587,4	16701,3	17696,1	18736,8	12559,3	14108,7	12773,3	11509,2

En cuanto a las emisiones netas (incluyendo FOLU) han disminuido 69,1 % desde 1990, con respecto al último año de inventario (2015) disminuyó un 18,4 % y en el último año se muestra una disminución del 9,9 %.

Al analizar la tendencia por gas con respecto al último año de inventario (2015), en el cuadro 2.4 se observa que el CO₂ neto disminuyó un 32,63 %, esto debido a que, como se explicará en detalle más adelante, las absorciones aumentaron en los últimos dos años. El gas que menos cambio tuvo

Cuadro 2.4. Tendencia relativa de las emisiones por gas (%).

Gas	1990 vs 2017	2015 vs 2017	2016 vs 2017
CO₂ (sin FOLU)	176,1	8,8	1,8
CO ₂ neto (con FOLU)	-82,6	-32,6	-18,6
CH₄ (sin FOLU)	8,8	3,1	1,7
CH ₄ (con FOLU)	9,2	1,8	0,4
N₂O (sin FOLU)	-18,0	1,9	-0,6
N ₂ O (con FOLU)	-17,5	-0,5	-3,0
HFC	--	-2,3	0,2
SF₆	-37,6	-79,8	-71,2
CO₂ eq (sin FOLU)	76,6	6,4	1,7
CO ₂ eq (con FOLU)	-69,1	-18,4	-9,9

desde 2015 fue el CH₄ con 1,59 % más de emisiones. Respecto al año anterior, las emisiones con mayor cambio fueron las de SF₆ con 71,2 % menos, seguidas las de CO₂ neto con 18,6 % menos. Por su parte, las que menos cambiaron fueron las de HFC con un aumento de 0,16 %.

La Figura 2.3 muestra el cambio anual con respecto a las emisiones de 1990 de CO₂ excluyendo FOLU. La tendencia de estas emisiones está estrechamente relacionada con el comportamiento de las emisiones del sector energía y será ampliado más adelante.

En el caso de las emisiones netas por gas, en la Figura 2.4 se muestra el cambio anual con respecto a 1990 de los tres gases principales. En el caso del CO₂, la tendencia es a la baja y está marcada

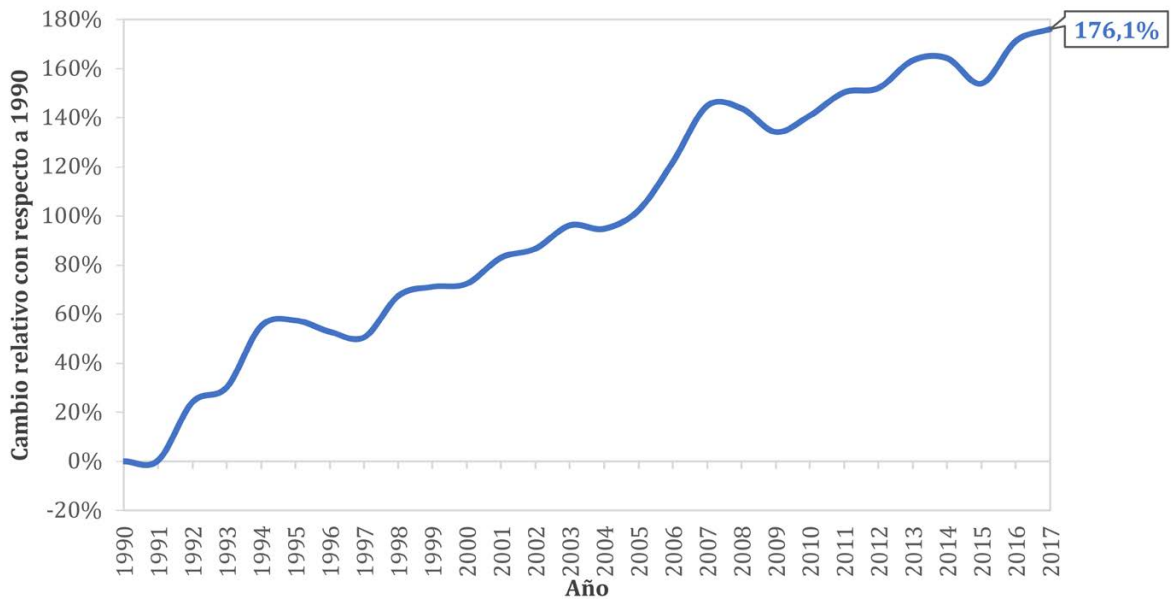


Figura 2.3 Tendencia relativa respecto a 1990 de las emisiones de CO₂ excluyendo FOLU

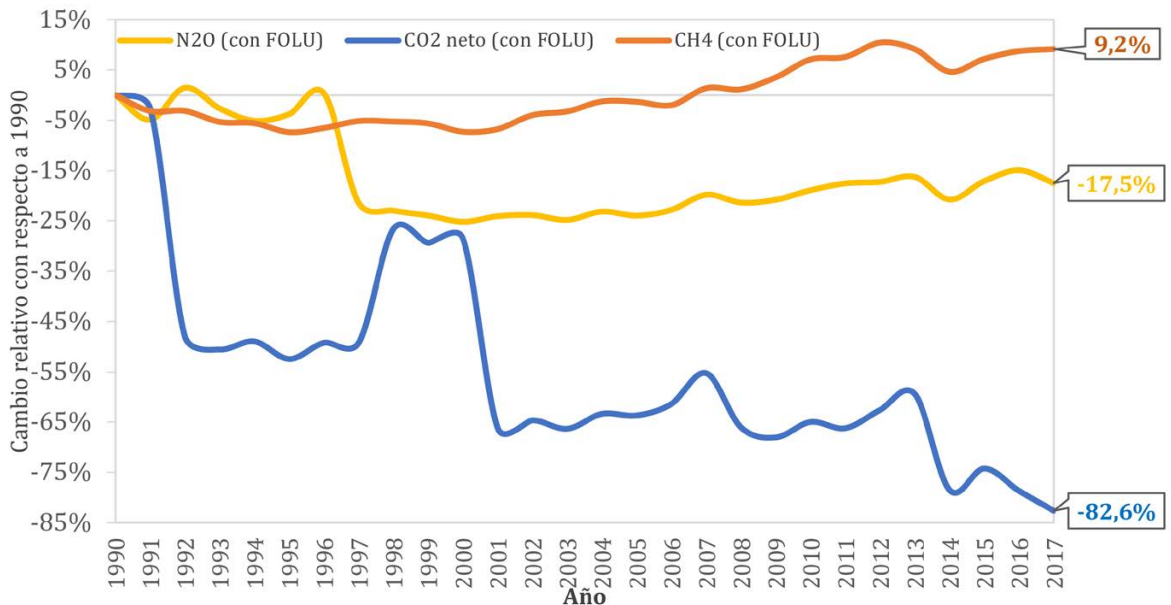


Figura 2.4 Tendencia relativa respecto a 1990 de las emisiones de GEI neto (incluyendo FOLU)

por el sector FOLU, debido, principalmente, a la disminución de la deforestación y al aumento de las absorciones. En cuanto al CH₄, las emisiones netas han crecido 9,2 % desde 1990, comportamiento que se debe al aumento de emisiones de CH₄ en el sector residuos, ya que en los otros sectores se han mantenido o disminuido como en el caso de agricultura. Las emisiones de N₂O sufrieron una caída abrupta entre 1996 y 1997 debido al cierre de una planta productora de ácido nítrico. Dicho evento es el que explica que las emisiones de ese gas hayan bajado 17,5 % desde 1990, ya que para el resto del período analizado las emisiones son estables.

Las emisiones de HFCs se presentan por separado en la Figura 2.5 debido a que el crecimiento relativo desde su año de introducción (900 veces en 2017 comparado con 1995) ha sido mucho más

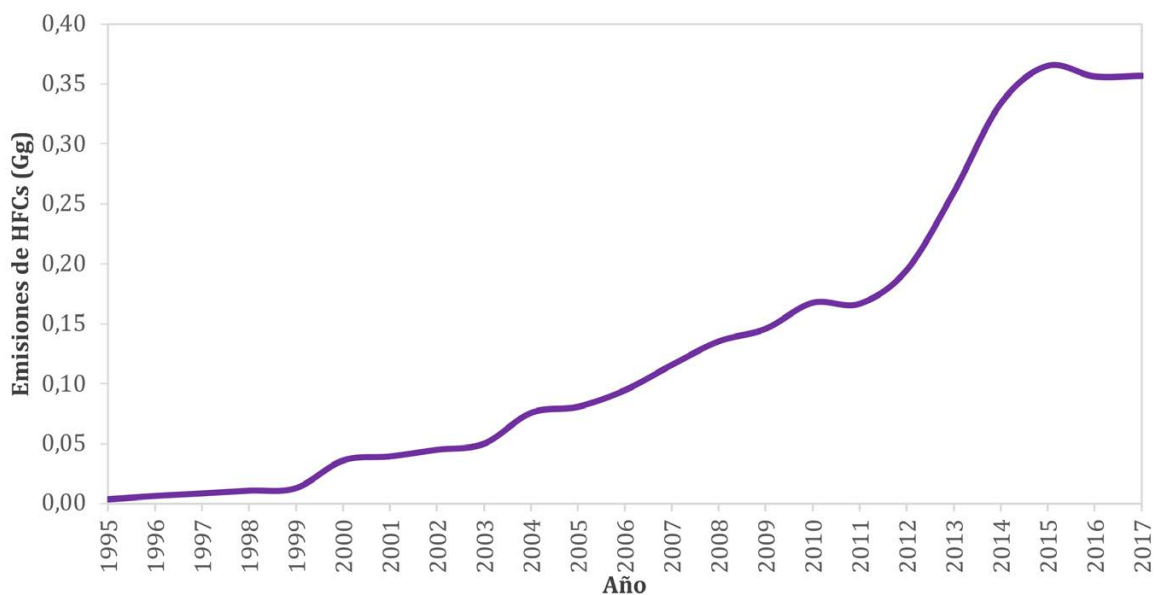


Figura 2.5 Tendencia de las emisiones de HFCs en Costa Rica, 1995-2017.

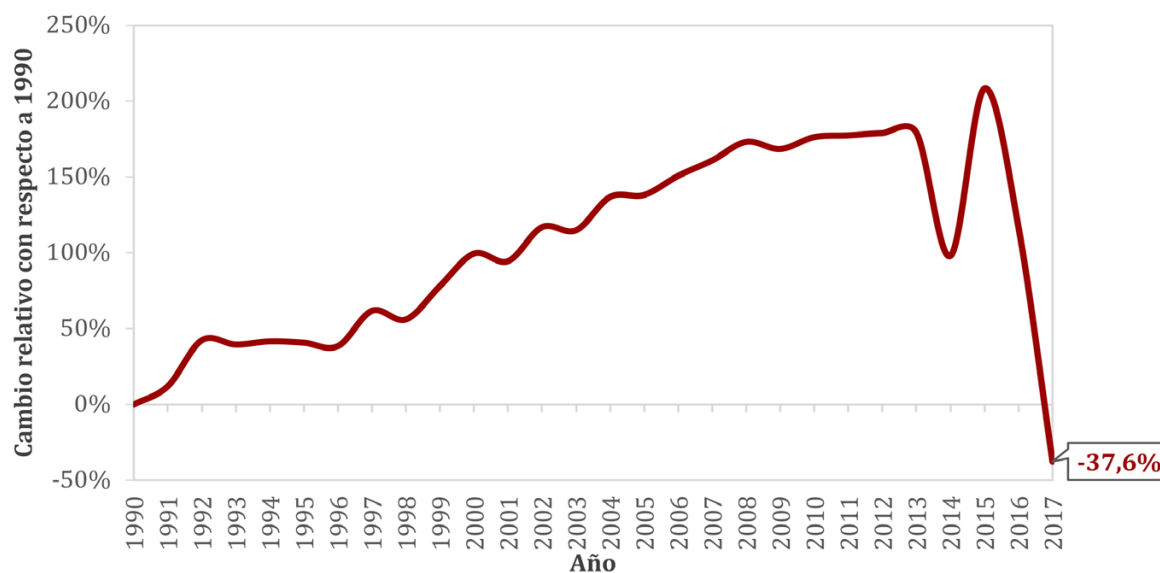


Figura 2.6 Tendencia relativa con respecto a 1990 de las emisiones de SF₆.

grande que el de los otros gases. El máximo se alcanzó en 2015, debido a que ese año se liberaron gases almacenados en equipos que salieron de funcionamiento.

En el caso del SF₆, como se muestra en la Figura 2.6, las emisiones son 37,6 % menores en 2017 comparado con 1990. Este gas es usado en el país únicamente en una categoría en el sector IPPU, por lo que su tendencia será analizada *más adelante en detalle*.

2.3. Tendencia de las emisiones de GEI de Costa Rica por sector para el período 1990-2017

En el cuadro 2.5 se encuentran las emisiones agregadas por sector para los años anteriores de inventario y para los último cinco años, los datos de 2017 se excluyeron ya que se encuentran en el cuadro 2.1. Es claro, como también se muestra en la Figura 2.7, que las emisiones del sector FOLU son las que marcan la tendencia de los totales y que estas emisiones netas, con algunas excepciones, han ido disminuyendo desde 1990. Al excluir FOLU, se observa que las emisiones han ido creciendo con una tendencia marcada por el sector energía.

Cuadro 2.5 Emisiones y absorciones por sector en Costa Rica

Sector	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016
	Emisiones de CO ₂ eq (Gg)									
1. Energía	2890,0	4533,4	4989,4	5947,0	7037,9	7307,9	7631,4	7662,0	7327,5	7874,3
2. IPPU	542,6	618,3	583,8	645,7	869,6	996,6	1103,4	1282,3	1318,0	1324,1
3. Agricultura	3747,3	3119,8	2900,4	2882,0	3057,7	3099,0	2976,3	2842,9	2866,6	2916,4
5. Residuos	1016,7	1291,4	1472,1	1721,3	1930,7	2002,1	2024,6	2062,9	2091,5	2119,7
Total sin FOLU	8196,6	9562,8	9945,8	11196,0	12896,0	13405,6	13735,7	13850,1	13603,6	14234,5
4. FOLU	29103,9	11665,5	17655,5	5391,4	3805,3	4290,6	5001,0	-1290,9	505,1	-1461,1
Total con FOLU	37300,5	21228,3	27601,2	16587,4	16701,3	17696,1	18736,8	12559,3	14108,7	12773,3

Al analizar la proporción de las emisiones de cada sector al total sin FOLU (Cuadro 2.6), se observa que energía pasó de representar un 35,3 % en 1990 a 55,3 % en 2016. En el caso de IPPU y residuos hubo un aumento en la proporción, pero menor que el de energía. Por su parte, el sector agricultura pasó de representar un 45,7 % de las emisiones excluyendo FOLU en 1990 a 20,5 % en 2016, esto debido a reducciones en el ato ganadero que se indicarán más adelante.

El comportamiento particular de las emisiones y absorciones del sector FOLU será detallado en el capítulo 6 de este reporte. En el caso del sector energía, se observa que ha ido en constante crecimiento, comportamiento también observado en el sector procesos industriales y uso de productos; mientras que para el caso del sector agricultura las emisiones se han ido reduciendo. El sector residuos también ha ido en aumento desde 1990. Las tendencias por categoría y subcategoría serán analizadas en los capítulos correspondientes a cada uno de los sectores de manera detallada

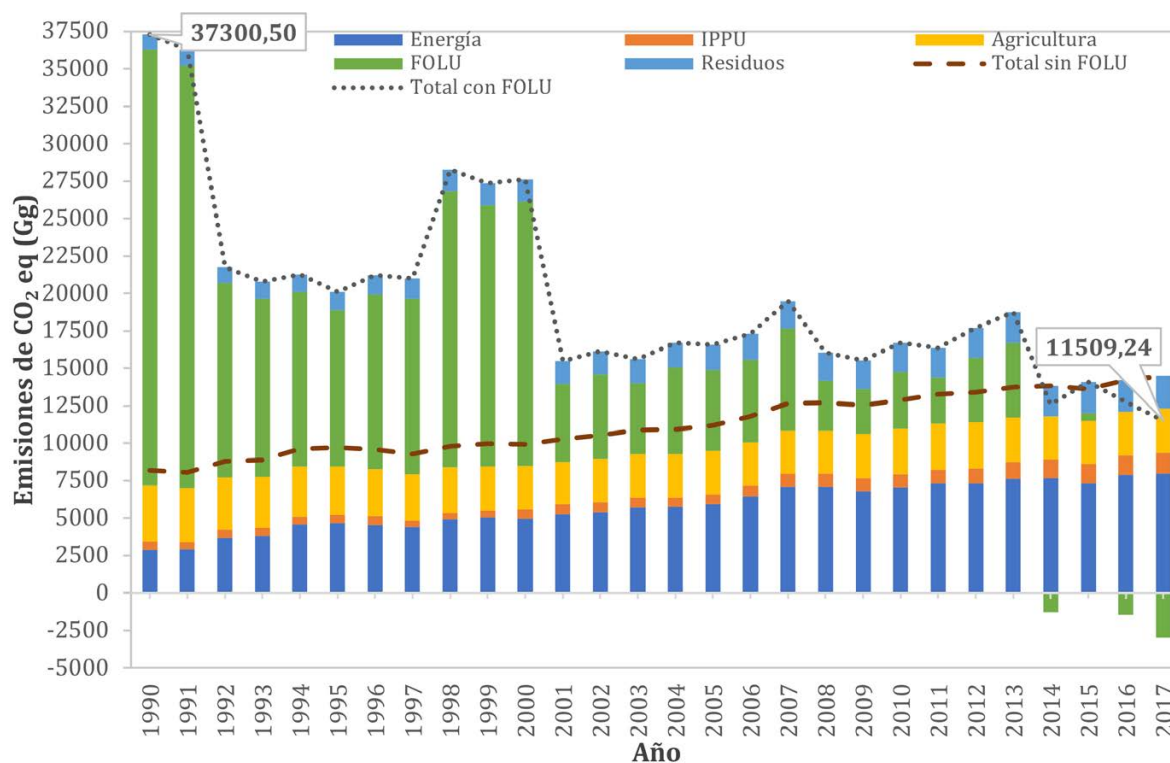


Figura 2.7 Tendencia de las emisiones totales de Costa Rica en el período 1990-2017.

Cuadro 2.6 Contribución al total de emisiones por sector en Costa Rica

Sector	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016
	Contribución (%)									
1. Energía	35,3	47,4	50,2	53,1	54,6	54,5	55,6	55,3	53,9	55,3
2. IPPU	6,6	6,5	5,9	5,8	6,7	7,4	8,0	9,3	9,7	9,3
3. Agricultura	45,7	32,6	29,2	25,7	23,7	23,1	21,7	20,5	21,1	20,5
5. Residuos	12,4	13,5	14,8	15,4	15,0	14,9	14,7	14,9	15,4	14,9
Total sin FOLU	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
4. FOLU	355,1	122,0	177,5	48,2	29,5	32,0	36,4	-9,3	3,7	-10,3
Total con FOLU	455,1	222,0	277,5	148,2	129,5	132,0	136,4	90,7	103,7	89,7

2.4. Tendencia de las emisiones de otros gases precursores y carbono negro de Costa Rica

Las emisiones por gas precursor cuantificado en este inventario, para los inventarios anteriores y los últimos 6 años por sector, se encuentran en el cuadro 2.7.

De manera total, las emisiones por gas se muestran en el cuadro 2.8, donde se observa que el gas precursor que se emite en mayor cantidad es el CO y el que menos se emite es el carbono negro.

Cuadro 2.7 Emisiones de gases precursores y carbono negro por sector

Sector	Gas	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Energía	NO _x (Gg)	23,0	33,3	40,0	45,3	53,3	55,8	56,7	57,4	59,5	63,4	64,6
	CO (Gg)	133,4	206,4	251,2	296,0	337,0	345,9	351,3	354,9	378,7	400,6	408,7
	NMVOOC (Gg)	25,5	40,2	48,7	56,7	65,7	67,6	69,0	70,0	74,4	78,7	80,0
	SO _x (Gg)	1,1	1,9	1,0	2,6	4,1	7,1	8,1	7,6	4,1	4,7	4,5
	Carbono negro (Gg)	1,10	1,23	1,36	1,68	1,86	1,75	1,81	1,79	1,78	1,75	1,76
IPPU	SO _x (Gg)	0,25	0,26	0,38	0,38	0,45	0,49	0,51	0,51	0,52	0,52	0,56
	NMVOOC (Gg)	6,2	10,5	23,9	13,0	18,3	24,6	24,8	26,5	32,5	30,3	39,1
Agricultura	Carbono negro (Gg)	0,10	0,05	0,16	0,10	0,10	0,15	0,20	0,15	0,17	0,20	0,13
FOLU	NO _x (Gg)	1,6	2,7	0,9	0,2	1,4	4,3	5,6	1,4	4,0	4,2	1,7
	CO (Gg)	43,5	96,1	33,3	7,0	53,9	137,8	206,9	51,3	156,1	162,8	66,1
	Carbono negro (Gg)	0,045	0,099	0,034	0,007	0,055	0,142	0,213	0,053	0,160	0,167	0,068
Residuos	Carbono negro (Gg)	0,015	0,025	0,033	0,044	0,047	0,048	0,048	0,048	0,048	0,047	0,047

Cuadro 2.8 Emisiones totales de gases precursores y carbono negro

Gas	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
NO _x (Gg)	24,57	36,04	40,89	45,50	54,78	60,09	62,26	58,77	63,52	67,56	66,27
CO (Gg)	176,96	302,49	284,44	303,01	390,93	483,73	558,17	406,23	534,76	563,33	474,88
NMVOOC (Gg)	31,66	50,66	72,63	69,72	84,02	92,21	93,79	96,50	106,89	108,95	119,13
SO _x (Gg)	1,40	2,13	1,38	2,94	4,58	7,59	8,61	8,08	4,63	5,19	5,10
Carbono negro (Gg)	1,25	1,41	1,59	1,84	2,06	2,09	2,26	2,04	2,16	2,17	2,01

En cuanto a la tendencia de las emisiones de estos gases, se observa en la Figura 2.8 que todos han crecido desde 1990 considerablemente; sin embargo, los compuestos orgánicos diferentes del metano (COVDM) han aumentado en mayor medida (276,6 %), mientras que el monóxido de carbono es el que creció menos con 168,4 %. El aumento de la emisión de SO_x entre 2011 y 2014 se debe a un mayor consumo de combustibles pesados con mayor contenido de azufre como diésel, fuel oil y bunker.

Como se observa en los cuadros 2.7 y 2.8 las emisiones de carbono negro también se incluyeron en este inventario para toda la serie histórica; además, se puede observar que es la única sustancia que fue estimada en cuatro de los cinco sectores. Aunque han fluctuado, se puede afirmar que al comparar 1990 con 2017 ha ocurrido un crecimiento de 60,2 % en las emisiones de carbono negro (Figura 2.9).

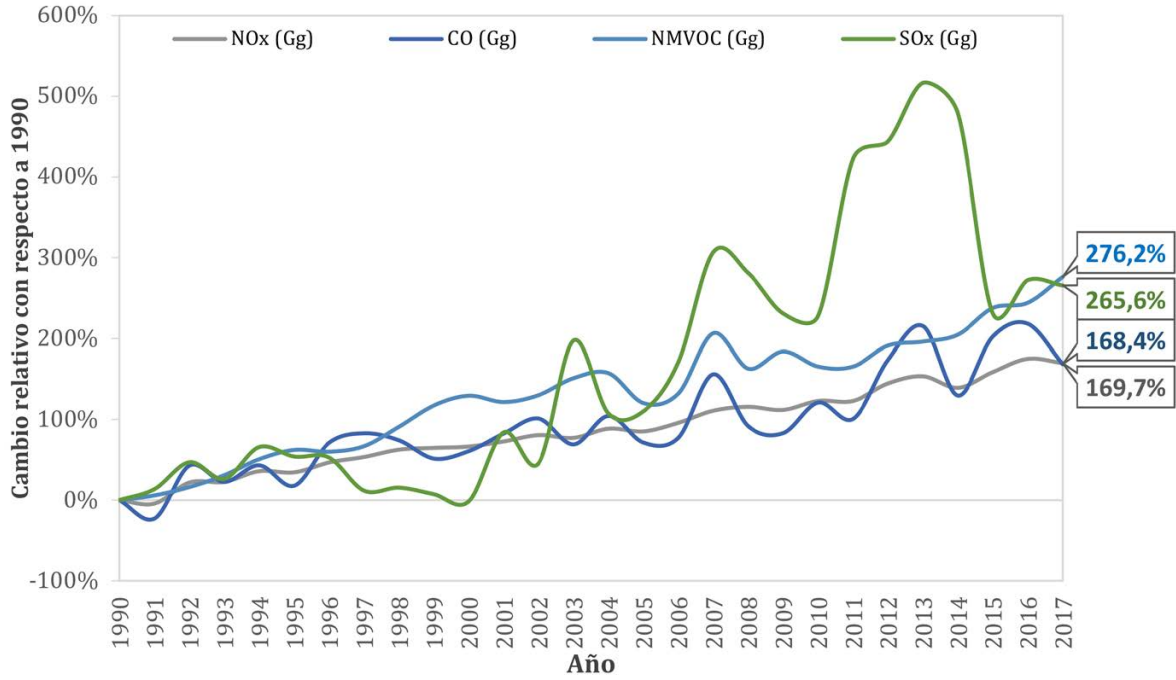


Figura 2.8 Variación relativa de las emisiones de gases precursores en el período 1990 a 2017 con respecto a 1990.

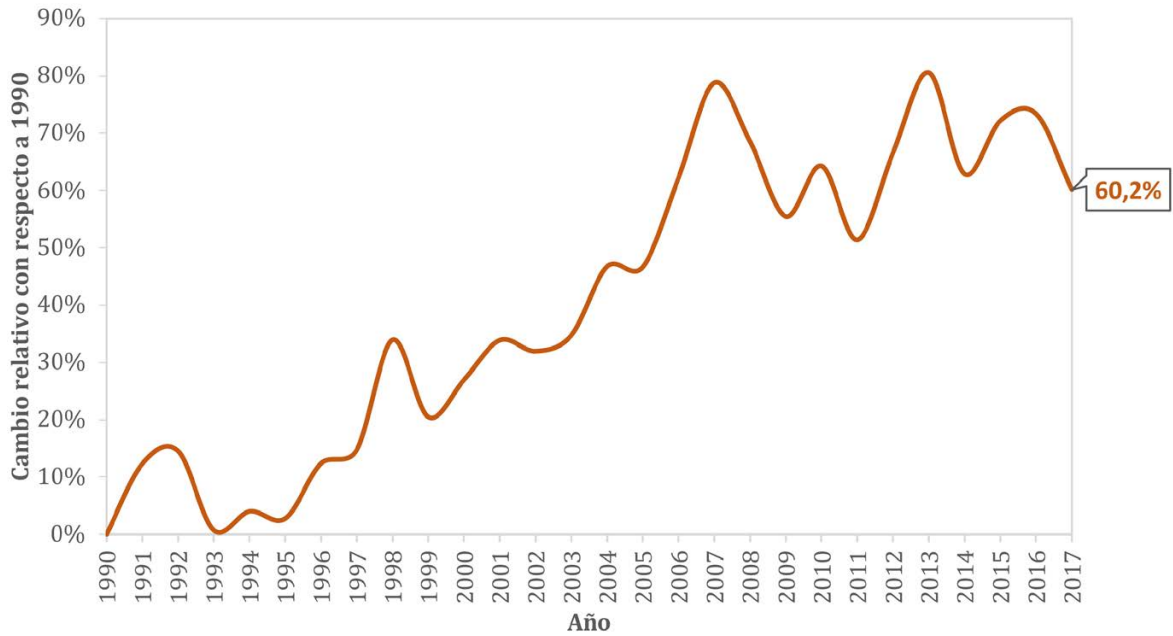


Figura 2.9 Variación de las emisiones de carbono negro con respecto a 1990.

3. SECTOR ENERGÍA

3.1. Panorama del sector

3.1.1. Introducción

En este sector se contabilizan las emisiones de GEI en la atmósfera debidas a la combustión de combustibles y sus correspondientes emisiones fugitivas en Costa Rica. Para las estimaciones se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006* para elaboración de inventarios nacionales de emisiones, específicamente el Volumen 2 Energía. Cada categoría y subcategoría se describe individualmente en este documento, incluyendo: la descripción de la actividad, metodología, incertidumbre y consistencia temporal, control de calidad y verificación, recálculos y plan de mejora, obtención del dato de actividad y resultado de las emisiones por gas y como CO₂ equivalente.

En Costa Rica, los combustibles son utilizados para una gran variedad de aplicaciones en donde se liberan gases de efecto invernadero como el CO₂, CH₄ y el N₂O, los cuales se contabilizan en este informe y otros gases como los NO_x, CO y COVDM que no se muestran acá. Las categorías y subcategorías estimadas, así como los gases emitidos se muestran en el cuadro 3.1.

En este inventario, las emisiones también están expresadas como CO₂ equivalente, para esto, se utilizaron los potenciales de calentamiento global del Segundo Reporte de Evaluación del IPCC (SAR), presentados en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.1 Categorías estimadas en el sector Energía

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
1.A. Actividades de la quema de combustibles			
1.A.1 Industrias de la energía	X	X	X
1.A.2 Industrias manufactureras y de la construcción	X	X	X
1.A.3 Transporte	X	X	X
1.A.4 Otros sectores	X	X	X
1.B. Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles			
1.B.2 Petróleo y gas natural	X	X	
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	X		

Cuadro 3.2 Potenciales de calentamiento global (PCG) utilizados

Gas	PCG
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

3.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector

Las emisiones totales del sector para el año 2017 fueron 7981,6 Gg de CO₂ eq aumentando 1,4 % respecto a 2016 y aumentando un 8,9 % respecto al último inventario cuyo año base fue 2015.

Desde 1990 las emisiones han aumentado 176,2 %. En el cuadro 3.3 se muestra la evolución de las emisiones del sector por categorías para los años de inventario anteriores realizados en el período 1990-2017 y para los últimos 6 años, recalculados con las *Directrices del IPCC de 2006*. Por tipo de gas, en 2017 se emitieron 7762,89 Gg de CO₂, 3,84 Gg de CH₄ y 0,45 Gg de N₂O.

Cuadro 3.3 Emisiones de GEI del sector Energía para Costa Rica por categoría de fuente

Categoría de fuente de GEI	Emisiones anuales (Gg de CO ₂ eq)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.1 Industrias de la energía	211,3	556,9	35,3	295,9	610,2	594,9	861,1	778,0	106,2	163,02	64,41
1.A.2 Industrias manufactureras y construcción	627,9	733,9	924,1	1087,9	1087,9	1172,0	1141,1	1134,8	1124,2	1193,0	1287,9
1.A.3 Transporte	1752,5	2804,2	3409,2	3924,9	4755,5	4987,4	5057,5	5165,9	5520,8	5902,0	6017,2
1.A.4 Otros sectores	295,2	371,4	501,3	508,2	451,1	432,7	438,6	445,8	459,4	497,6	518,9
1.B.2 Petróleo y gas natural	3,20	4,75	0,35	4,1	3,8	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NO	62,2	119,1	126,0	129,3	120,9	133,1	137,6	117,0	118,6	93,2
Total	2890,0	4533,4	4989,4	5947,0	7037,9	7307,9	7631,4	7662,0	7327,5	7874,3	7981,6

En la Figura 3.1 se muestra la distribución relativa de las emisiones por categoría de fuente para el 2017, en donde el transporte destaca entre las demás, representando un 75,4 % de las emisiones del sector energía. La evolución de cada una de las categorías y el análisis de su fracción del total sectorial se analizará con más detalle adelante.

La Figura 3.2 muestra la evolución temporal de las emisiones de GEI del sector energía desde 1990 hasta 2017. Como se observa, en general, existe una tendencia de aumento de las emisiones, con altos y bajos atribuidos, principalmente, a cambios en las emisiones de las industrias de la energía (1.A.1) que serán detallados en la categoría más adelante en el documento.

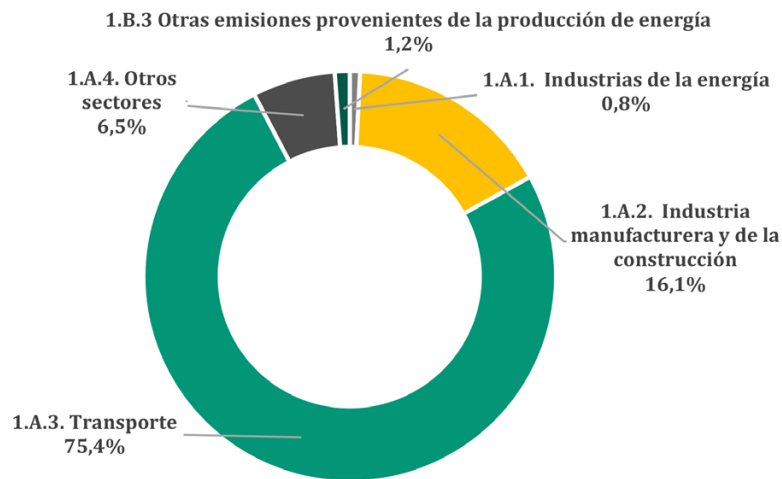


Figura 3.1 Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector energía en el 2017.

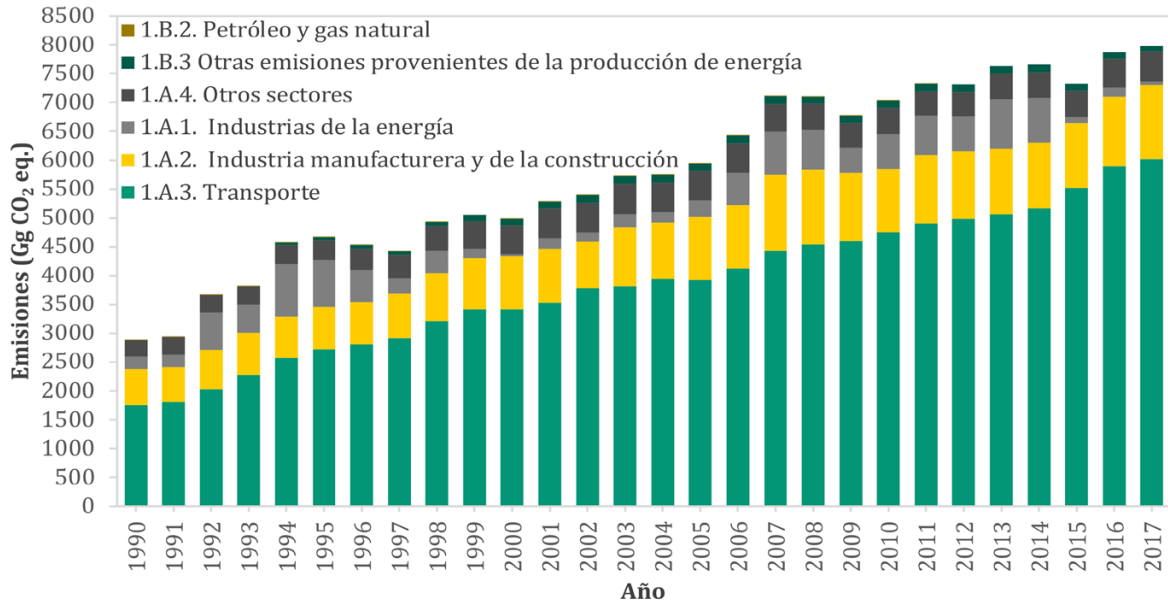


Figura 3.2 Emisiones por categoría de fuente del sector Energía de Costa Rica para el período 1990-2017.

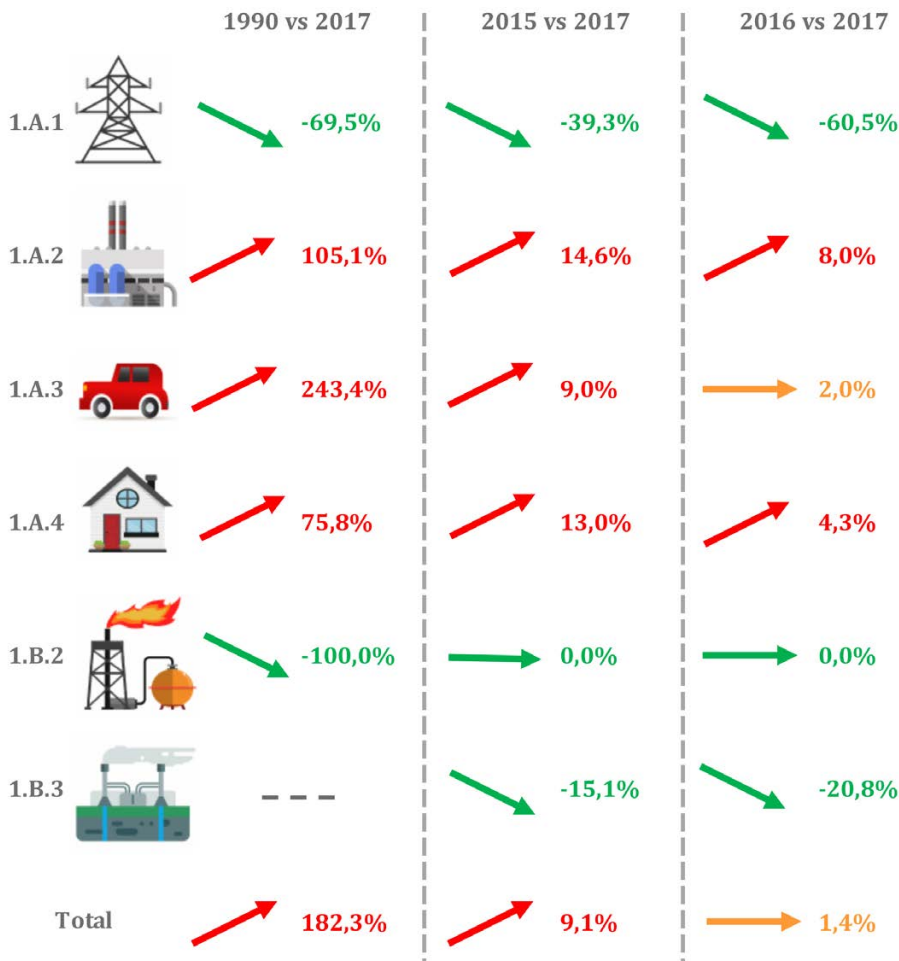


Figura 3.3 Tendencia de las emisiones del sector energía.

En cuanto a las tendencias de las categorías mostradas en la Figura 3.3, se debe destacar que con respecto a 1990, la categoría que ha tenido mayor aumento es la de transporte con 243 %, seguida por las industrias de manufactura y construcción. Los casos en donde se contabiliza una mayor disminución son en petróleo, esto debido a la no operación de la refinería, y en industrias de la energía con 69,5 % menos que 1990.

Asimismo, se analizó la variación de las emisiones del último año inventario reportado (2015) a 2017. Para este caso las emisiones de la industria de la energía bajaron 39,3 %, mientras que la industria manufacturera, el transporte y otros sectores reportan aumentos. Si se comparan los últimos dos años calendario se observa que las emisiones de la categoría 1.A.1 continuaron bajando, las que más aumentaron fueron la de la industria manufacturera y de la construcción mientras que el transporte registro un aumento relativamente bajo.

3.2. Actividades de la quema de combustibles (1.A)

3.2.1. Descripción de la categoría

La combustión, de manera general, se define como la reacción del oxígeno con el carbono, hidrógeno y azufre, y la liberación asociada de calor y producción de otros gases, por ejemplo, de efecto invernadero como el CO₂, CH₄, N₂O y otros que no son de principal interés en este inventario como el vapor de agua, compuesto orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), material particulado (PM), monóxido de carbono (CO), entre otros. El calor liberado es utilizado para producir energía mecánica principalmente para generar energía eléctrica, vapor o en el transporte.

En la categoría 1.A se contabilizan las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la combustión de todos los combustibles en el país. En el cuadro 3.4 se muestran la cantidad de

Cuadro 3.4 Parámetros por defecto para los combustibles

Combustible	Cantidad de carbono (kg/GJ)	Poder calórico (TJ/Gg)	Factor de emisión (kg CO ₂ /TJ combustible)
Fuel oil	21,1	40,4	77400
Nafta	20,0	44,5	73300
Keroseno	19,6	43,8	71900
Gasóleo	20,2	43,0	74100
Carbón vegetal	30,5	29,5	112000
Biogás	14,9	50,4	54600
Residuos vegetales	27,3	11,6	100000
IFO 380	21,1	40,4	77400
Carbón mineral	25,8	25,8	94600
Coque	26,6	32,5	97500
Gasolina de avión	19,1	44,3	70000
Jet fuel	19,5	44,1	71500
Lubricante para motores dos tiempos	20,0	40,2	73300
Etanol	19,3	27	70800

carbono, el poder calórico neto y los factores de emisión de CO₂ utilizados en las estimaciones para los diferentes combustibles consumidos en el país. Para este primer grupo, los parámetros utilizados son los valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, mientras que, para la gasolina regular, la gasolina súper, el Diesel y el LPG los datos de cantidad de carbono son nacionales obtenidos de la Refinadora Costarricense de Petróleo, lo que llevó a un ajuste en los factores de emisión para dióxido de carbono de esos combustibles, los datos se encuentran en el cuadro 3.5. Para determinar estos factores de emisión de CO₂ se asume que la oxidación se da de manera completa, suposición aceptable, ya que la generación de CO₂ depende, directamente, de la cantidad de carbono en el combustible, no de la tecnología. En el caso de los factores de CO₂ por consumo de madera y bagazo de caña que se muestran en el cuadro 3.5, se obtuvieron de un estudio de propiedades energéticas de la biomasa en el país llevado a cabo por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica (2020), como parte de la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC, el detalle del cálculo de estos factores se encuentra en el Anexo I.

Cuadro 3.5 Parámetros para los combustibles con valores específicos del país

Combustible	Cantidad de carbono (kg C/kg Combustible)	Poder calórico (TJ/Gg)	Factor de emisión (kg CO ₂ /TJ combustible)
LPG	0,820	47,62	63136,5
Gasolina Regular	0,854	44,71	70024,8
Gasolina Super	0,863	44,30	71402,8
Diesel	0,865	42,82	74078,1
Madera	0,4058	15,314	97449,29
Bagazo	0,2419	7,057	125871,51

Los factores de emisión para CH₄ y N₂O serán indicados en el análisis de cada subcategoría de fuente más adelante ya que, a diferencia del CO₂, la generación de las emisiones de estos gases sí depende de la tecnología utilizada en el proceso de combustión. Por ejemplo, depende de la presencia o no de catalizador.

Las *Directrices del IPCC de 2006* proveen diferentes niveles de estimación, aunque en la mayoría de las subcategorías se utilizó Nivel 1, se indicará en el análisis para cada una en detalle el método utilizado.

Los datos de actividad para esa categoría corresponden al combustible consumido en el país en unidades de energía (Terajulios) y, como se ampliará más adelante, corresponden a los valores declarados (expresados utilizando los poderes calóricos netos) en el Balance Nacional de Energía elaborado por la Secretaría de Planificación del Subsector Energía (SEPSE) del MINAE, aunque en algunos casos, para verificación o uso, se tienen otras fuentes de datos como RECOPE, el Ministerio de Obras Públicas y Transporte (MOPT), el ICE, la Agencia Internacional de Energía (IEA), Dirección General de Aviación Civil (DGAC), entre otras.

3.2.2. Verificación del enfoque sectorial

3.2.2.1. COMPARACIÓN CON EL MÉTODO DE REFERENCIA

El método o enfoque sectorial clasifica las emisiones de GEI en las diferentes categorías de fuente establecidas en las *Directrices del IPCC de 2006* y es el método que se utiliza en este inventario.

Para el caso de las emisiones de CO₂, al no depender de la tecnología, se pueden estimar también de arriba hacia abajo usando las estadísticas primarias sobre energía del país, incluyendo producción, importaciones y exportaciones. A este método se le conoce como método de referencia. Al tener dos o más estimaciones independientes de emisiones de CO₂ en el sector energía se puede hacer una comparación de estas, contribuyendo, de esta manera, a mejorar la calidad de las estimaciones del gas mayormente emitido en el país y el mundo.

Para este inventario, en cumplimiento con lo dispuesto en las *Directrices del IPCC de 2006* Vol. 2, Capítulo 6: *Método de Referencia*, se realizó la estimación para todos los años en el período 1990-2017, como fuente de datos se utilizaron los Balances Energéticos Nacionales de SEPSE y la Memoria Estadística de Energía (SEPSE, 2008). Para el año 2017 la diferencia entre el método de referencia y el método de sectores fue de 34,45 Gg de CO₂, siendo mayor el estimado por referencia, esta diferencia corresponde a un 0,45 %.

3.2.2.2. COMPARACIÓN CON LAS ESTIMACIONES DE EDGAR

Se realizó una comparación del método por sectores con los datos de la Base de Datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Global (EDGAR por sus siglas en inglés), la cual es un esfuerzo realizado por el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea y la Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos (PBL) y cuya estimación utiliza como datos de actividad los datos sectoriales de energía de la Agencia Internacional de Energía y los valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* en el caso de los factores de emisión. Se debe indicar que para los datos 2016 y 2017 los datos de consumo de energía utilizados en EDGAR fueron extrapolados. Para el 2017, la diferencia entre ambas estimaciones fue 3,3 % mayor para el método por sectores que las estimaciones de EDGAR.

En la Figura 3.4 se encuentran graficadas las estimaciones de los tres métodos. De manera general, se puede concluir que la tendencia es similar para todo el período analizado.

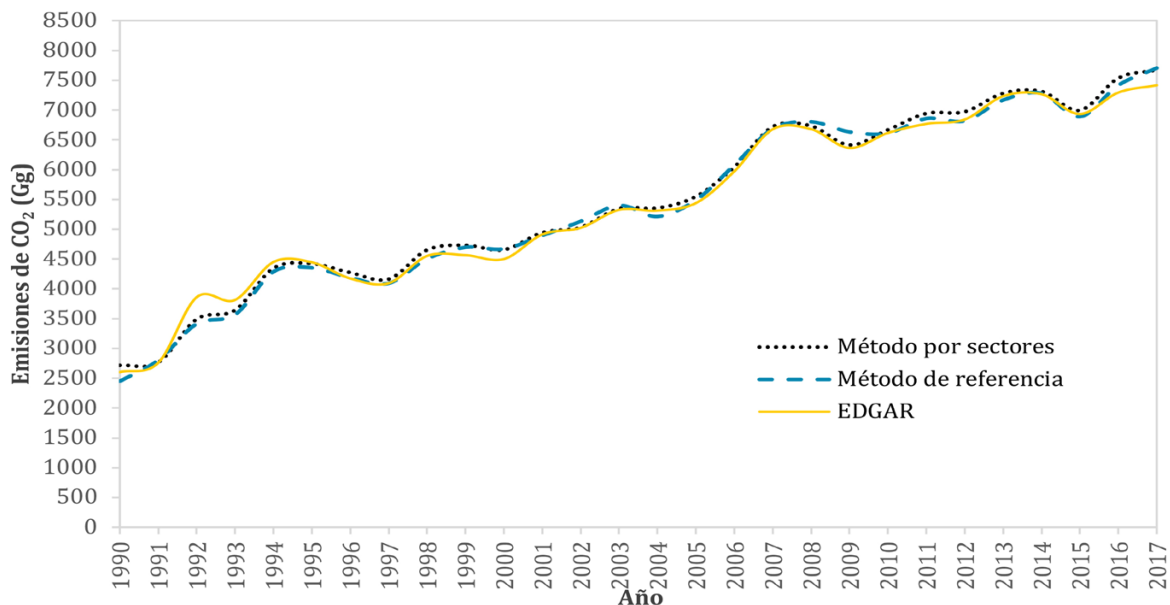


Figura 3.4 Comparación de emisiones de CO₂ de diferentes estimaciones.

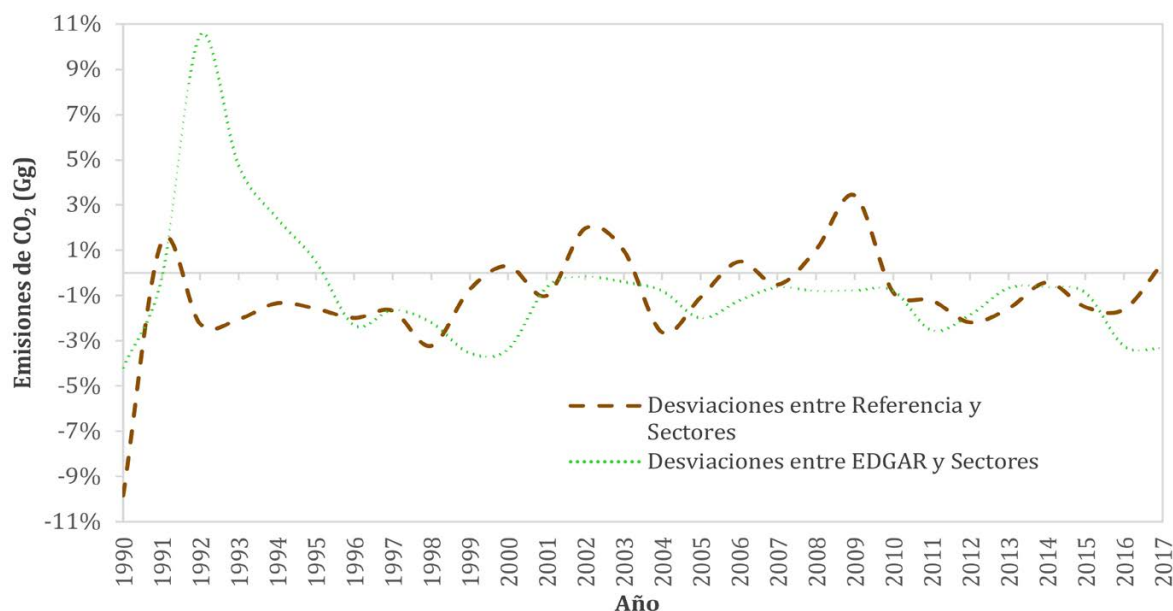


Figura 3.5 Comparación de las variaciones relativas de las diferentes estimaciones.

Al analizar las variaciones relativas entre las diferentes estimaciones, tal como se observa en la Figura 3.5, se encuentra que para el caso de la comparación del método sectorial con el método de referencia las diferencias son para todos los años menores al 3 %, lo cual son aceptables de acuerdo con el criterio de las *Directrices del IPCC de 2006* (menor a 5 %). Analizando los balances de energía del país, es posible que las diferencias se deban a recintos y transferencias de los combustibles. Al comparar el método por sectores con las estimaciones de EDGAR se encuentran únicamente un año en donde la diferencia es mayor a 5 %. Este corresponde a 1992, en donde las emisiones por sectores fueron 10,5 % menores que las de EDGAR.

3.2.2.3. PLAN DE MEJORA

Se espera actualizar los valores de EDGAR del 2016 y 2017 para el próximo INGEI siempre que se cuente con valores estimados sin extrapolaciones. Además, se consultará directamente a JRC y PBL sobre las posibles diferencias en las estimaciones de 1992 y 2004.

3.2.3. Depósitos internacionales de combustibles

Estas son las emisiones que se estiman pero que son asignadas a depósitos internacionales debido a que suceden en más de un país. Los dos casos estimados son las emisiones de transporte aéreo internacional (1.A.3a.i) y la navegación marítima internacional (1.A.3d.i), por lo tanto, no se suman al total nacional.

3.2.3.1. EMISIONES DE TRANSPORTE AÉREO INTERNACIONAL (1.A.3A.I)

3.2.3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, en esta categoría se contabilizan las emisiones de vuelos que salen de un país y llegan a otro, incluyendo despegues y aterrizajes.

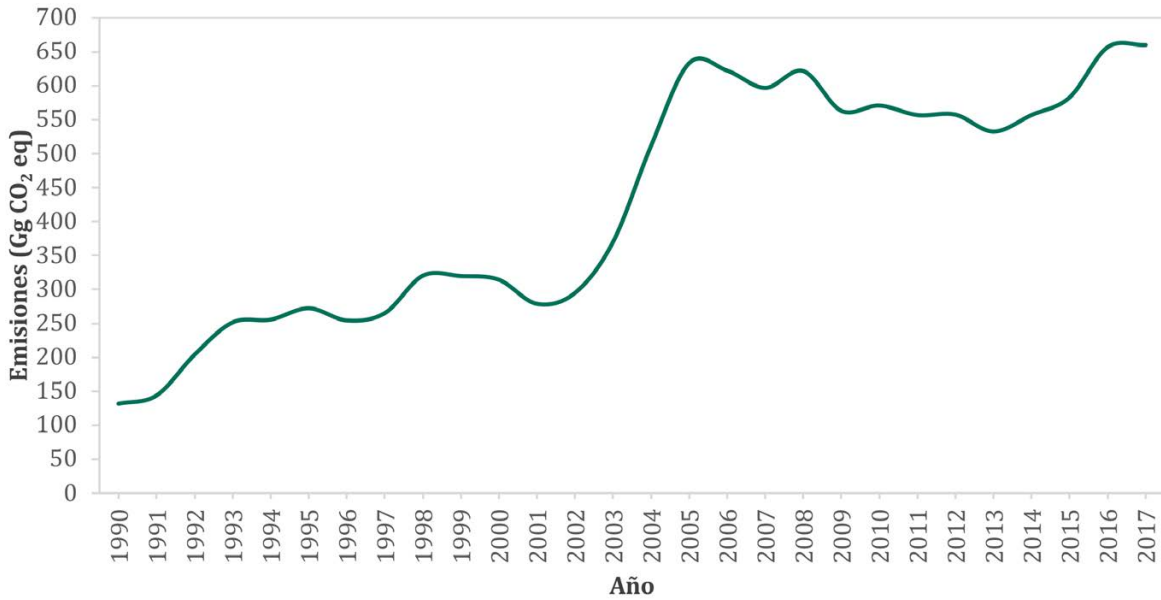


Figura 3.6 Emisiones debidas al transporte aéreo internacional de 1990 a 2017.

Para el año 2017, las emisiones de esta categoría alcanzaron 660 Gg de CO₂ eq, muy similares a las de 2016 con 656 Gg de CO₂ eq. Tomando como referencia 1990 las emisiones han crecido 402 %. La disminución de emisiones que se observa en la Figura 3.6 para el período 2001-2002 se debe a una reducción de operaciones en el aeropuerto.

La metodología empleada permite estimar las emisiones para la fase de rodaje, despegue y aterrizaje (LTO) y para la fase de ascenso crucero y descenso (CCD) de manera separada. Para el 2017, las emisiones durante las fases LTO fueron 11,3 % del total, el 88,7 % restantes fueron emisiones en las etapas de CCD.

Cuadro 3.6 Información introductoria para la categoría 1.A.3a.i

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 3A-M	EN	M
CH ₄	Nivel 3A-M	EN	M
N ₂ O	Nivel 3A-M	EN	M

3.2.3.1.2. METODOLOGÍA

Las estimaciones de emisiones se realizaron en un Nivel 3A debido a que en Costa Rica se tiene acceso a la información sobre operaciones aéreas, para eso se tomaron en cuenta variables como: número de operaciones LTO realizadas, tipo de avión y distancia recorrida durante el vuelo.

En el Nivel 3A, se modelizan los inventarios usando datos promedio de las emisiones y el consumo de combustible para la fase de LTO y las diversas longitudes de fases de crucero, para una variedad de categorías representativas de las aeronaves (IPCC, 2006).

Tal como lo indican las *Directrices del IPCC de 2006*, y que fue considerado en este estudio, la cantidad de emisiones producidas es diferente en cada una de las etapas de vuelo. Además, el combustible y la distancia de vuelo se relacionan.

De acuerdo con la recomendación de los expertos del IPCC se siguió la guía del *Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación* (EMEP) y de la EEA del año para llevar a cabo de manera exitosa un nivel de estimación 3A. Se utilizó la base de datos anexa a estas guías que incluye las emisiones para una amplia lista de aeronaves tanto en la fase LTO como en crucero. Para este inventario fueron calculadas las emisiones de los gases de CO₂, CH₄ y N₂O para el período 2009-2017.

La estimación de las emisiones del período 1990-2017 para esta categoría también se realizó siguiendo el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* utilizando el consumo de combustibles como dato de actividad. Específicamente, se determinaron las emisiones utilizando la ecuación 3.1.

$$\text{Emisiones de GEI} = \text{Consumo de combustible} * \text{Factor de emisión} \quad (3.1)$$

Donde:

Emisiones de GEI = emisiones de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg GEI).

Consumo combustible = cantidad de combustible quemado (TJ)

Factor de emisión = factor de emisión por defecto de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg gas/TJ). Para el caso del CO₂, incluye el factor de oxidación del carbono, que se supone es 1.

Dato de actividad

Para el período 2009-2017, el recorrido del vuelo, tipo de avión y cantidad de vuelo realizados se obtuvo de la Dirección General de Aviación Civil, mientras que la distancia recorrida se calculó de acuerdo con la información suministrada de aeropuerto de salida y destino. Las emisiones son estimadas directamente con estos parámetros usando el Nivel 3A.

Para el caso del Nivel 1, los datos de actividad correspondieron al consumo de gasolina de avión y de Jet Fuel contabilizados en los Balances Nacionales de Energía.

Factores de emisión

Para el caso de las estimaciones de Nivel 3A, las emisiones son obtenidas utilizando los perfiles de emisiones por distancia y tipo de avión de la guía del EMEP. Para el Nivel 1 se utilizaron los factores de emisión por defecto presentados en el cuadro 3.4 para el CO₂ y en el cuadro 3.7 para el caso del CH₄ y el N₂O.

Cuadro 3.7 Factores de emisión de CH₄ y N₂O para el Nivel 1 para la categoría 1.A.3a.i

Combustible	Factor de emisión CH ₄ (kg gas/TJ combustible)	Factor de emisión N ₂ O (kg gas/TJ combustible)
Gasolina de avión	0,5	2
Jet fuel	0,5	2

Empalme de datos entre Nivel 1-Nivel 3A

Para poder completar la serie histórica mostrada en la Figura 3.6, se estimó toda la serie histórica con Nivel 1. Posteriormente, se estimó la variación anual entre el Nivel 3A y el Nivel 1 para el período en el que se cuenta con ambas estimaciones (2009-2017) y en donde se tiene además un

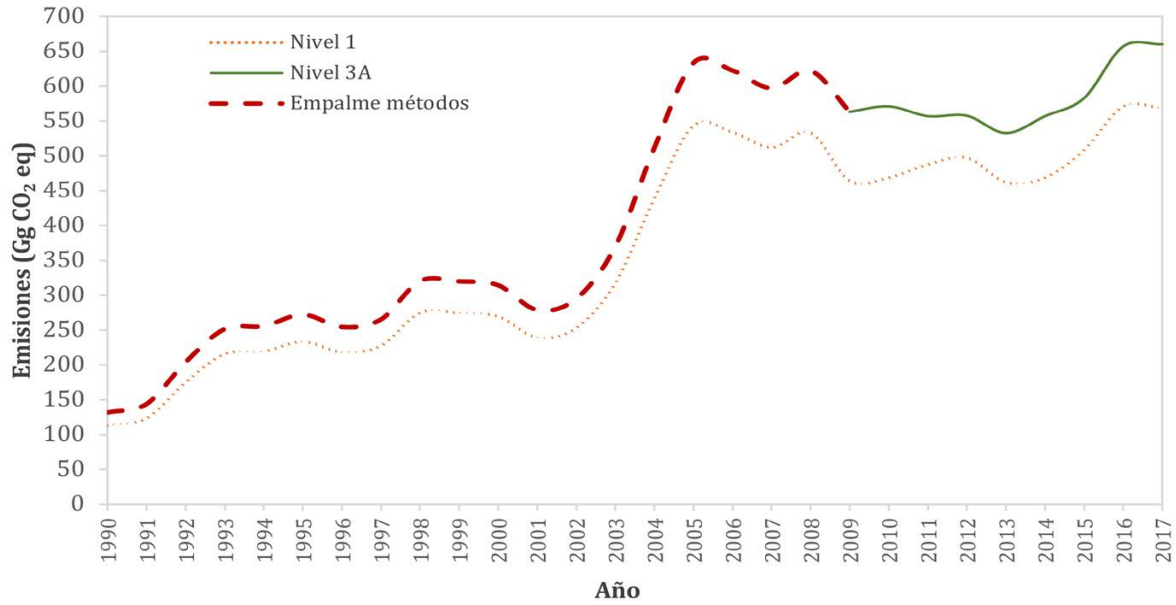


Figura 3.7 Estimaciones de emisiones debidas a la aviación internacional.

comportamiento similar. Por último, se aplicó el promedio de esa variación en el periodo 2009-2017 a los datos de emisiones de Nivel 1 del período 1990-2008, obteniendo los datos de emisiones aproximados a Nivel 3A para 1990-2008. Ambas estimaciones se muestran en la Figura 3.7.

3.2.3.1.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia

Como se indicó anteriormente, para asegurar la coherencia temporal, se utilizó un método de empalme para obtener las emisiones aproximadas a un Nivel 3A para el período 1990-2008. Para el período 2009-2017 se utilizó la misma fuente de información y metodología de trabajo. De manera similar, para las estimaciones de Nivel 1 se utilizó la misma fuente de información, así como factores de emisión.

Incertidumbre

Para el Nivel 3A por tratarse de un modelo complejo no se realizó estimación de incertidumbre, mientras que, para el caso del Nivel 1 la estimación de la incertidumbre se explicará más adelante en la categoría 1.A.3a.ii Aviación Doméstica.

3.2.3.1.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Para las estimaciones de Nivel 1, el control y aseguramiento de la calidad se explicará más adelante en la categoría 1.A.3a.ii Aviación Doméstica ya que son los mismos.

Para el Nivel 3, como verificación, las emisiones se comparan con el número de despegues realizadas en el país, lo que supone un análisis muy general. Lo anterior se muestra en la Figura 3.8, en donde se puede concluir que ha existido un aumento en los despegues desde 1990. Por tanto, el

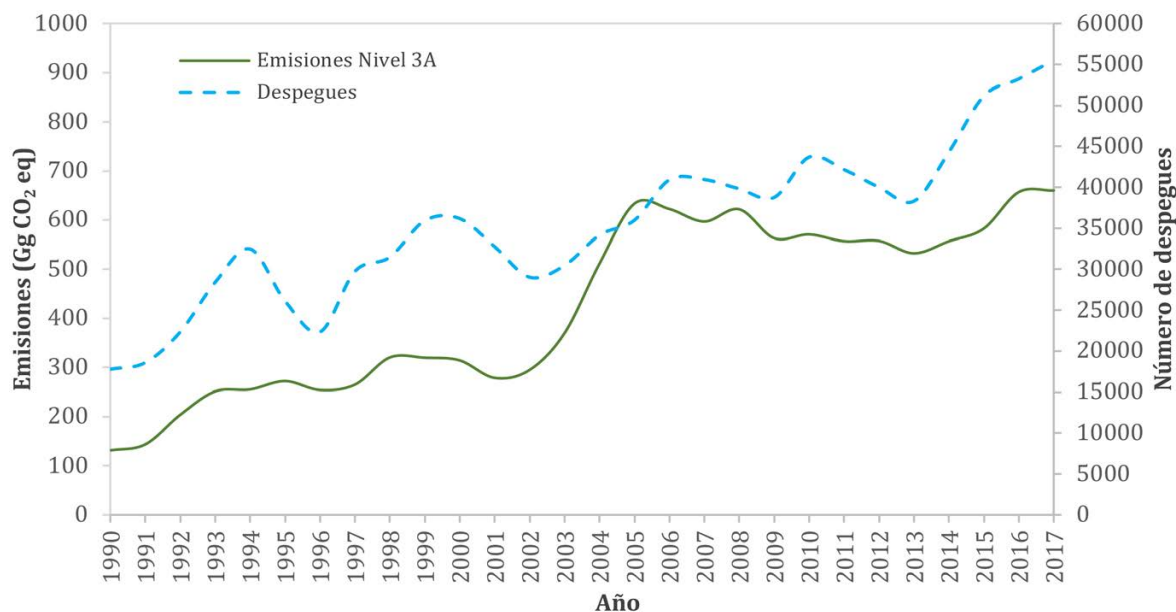


Figura 3.8 Análisis de la tendencia de las emisiones de aviación internacional con el número de despegues.

aumento en las emisiones es consistente; además, se observa que el crecimiento de las emisiones en el año 1999 y 2000 se puede atribuir al aumento de operaciones. Igual comportamiento se da en el período 2001-2002 pero a la baja, tal como se indicó anteriormente.

3.2.3.1.5. RECÁLCULOS

En este inventario se presentan por primera vez emisiones para la serie histórica completa de esta categoría. En el caso de los inventarios anteriores de 2010, 2012 y 2015 no se reportan recálculos ya que se aplicaron los mismos datos de actividad y el mismo método de estimación, por lo que las emisiones son las mismas que se reportan aquí. Para los inventarios 2000 y 2005 también se estimaron estas emisiones; sin embargo, no se puede analizar el recálculo, ya que las emisiones se presentaron de manera agregada junto con navegación marítima internacional. En el inventario en el que se reportaron las emisiones de 1990 no se detalla la información las emisiones de esta categoría.

Por último, para 1996, sí se reportaron emisiones individuales para esta categoría; sin embargo, el consumo de combustible reportado en ese momento fue mayor al utilizado en este inventario. En el cuadro 3.8 se muestran los valores reportados en 1996 y en este inventario para 1996. La diferencia entre las estimaciones fue de 8,8 % y se debe a que se utilizaron dos metodologías distintas de estimación y datos de actividad distintos.

Cuadro 3.8 Recálculos para las emisiones de transporte aéreo internacional de 1996 (1.A.3ai)

Reporte	Emisiones (Gg CO ₂ eq)	Diferencia relativa	Método	Dato de actividad
INGEI 1996	276,74	-8,8 %	IPCC/ OECD (1997) Análogo a Nivel 1	Consumo de combustible
INGEI 2017	254,31		Nivel 3A IPCC 2006	Estimado con empalme

3.2.3.1.6. PLAN DE MEJORA

Se espera obtener datos de actividad detallados para aplicar el Nivel 3A en años anteriores a 2009.

3.2.3.2. EMISIONES DE NAVEGACIÓN MARÍTIMA INTERNACIONAL (1.A.3D.I)

3.2.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En esta categoría se contabilizan las emisiones debidas a la quema de combustibles usados por naves de todas las banderas que se dedican a la navegación internacional marítima y fluvial. La navegación internacional puede ser en mares, lagos internos o vías fluviales o por aguas costeras. Al igual que la aviación internacional, esta categoría es reportada en este inventario, pero no contabilizada en los totales nacionales.

Las emisiones en 2017 fueron 328,5 Gg de CO₂ eq, siendo 0,38 % mayores al 2016 y 74,5 % mayores a 1990 como se muestra en la figura 3.9.

En el cuadro 3.9 se muestra la información básica para la estimación de esta categoría que será ampliada en las siguientes secciones.

Cuadro 3.9 Información introductoria para la categoría 1.A.3d.i.

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1	EN	D
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

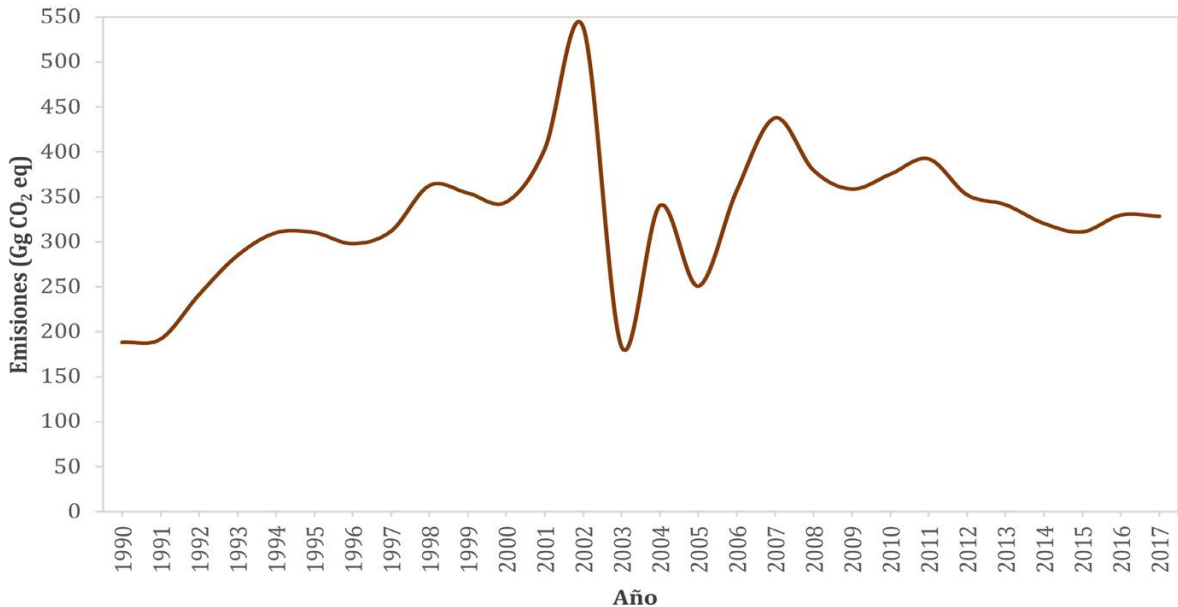


Figura 3.9 Emisiones de GEI debidas a la navegación marítima internacional desde 1990.

3.2.3.2.2. METODOLOGÍA

La estimación de las emisiones para esta categoría se realizó siguiendo el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* utilizando el consumo de combustibles como dato de actividad. Específicamente, se determinaron las emisiones utilizando la ecuación 3.1.

Factor de emisión

Para la estimación de las emisiones de navegación marítima internacional se usó el factor de emisión por defecto para CO₂ para el combustible IFO 380 del cuadro 3.4. Para el metano y óxido nítrico se utilizaron los valores indicados en el cuadro 3.10.

Dato de actividad

Se cuenta con poca información de calidad para esta categoría. Al analizar los datos de consumo de combustible IFO 380 en la navegación marítima internacional se encontró que se compra muy poco de este combustible a RECOPE por lo que su consumo se ve poco reflejado en el período 2008-2018. Se cuenta con este consumo en los balances de energía de 2000 al 2007, mientras que para 1990-1999 no se reporta consumo para navegación internacional.

Para poder obtener la cantidad de combustible consumido para los dos períodos en los que se tiene carencia de datos se relacionó para el período de 2000-2007 el combustible con el número de embarques realizados en el país. Se obtuvo un valor promedio de 1,73 TJ/embarque y, posteriormente, se multiplicó el número de embarques anual obtenido de los *Anuarios Estadísticos del MOPT* por ese valor promedio. Con esto se obtuvo una aproximación del consumo de IFO 380 para toda la serie. Estos datos se muestran en el cuadro 3.11, en donde los datos del período 2000-2007 se extrajeron directamente del Balance Nacional de Energía.

3.2.3.2.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia

Se aplicó el mismo método a toda la serie temporal.

Incertidumbre

Debido a que esta es una aproximación y que los datos de actividad son calculados a partir de otros datos, no se realizó un análisis completo de incertidumbre para esta subcategoría. Sin embargo, en el análisis de la categoría de 1.A.3.d.ii Navegación Marítima Nacional más adelante, se muestran las incertidumbres de los factores de emisión que fueron utilizados en ambas categorías.

Cuadro 3.10 Factores de emisión de CH₄ y N₂O para el Nivel 1 para IFO 380 consumido en navegación marítima

Combustible	Factor de emisión CH ₄ (kg gas/TJ combustible)	Factor de emisión N ₂ O (kg gas/TJ combustible)
IFO 380	7	2

Cuadro 3.11 Consumo estimado de IFO 380 para navegación marítima internacional

Año	Consumo (TJ)	Año	Consumo (TJ)
1990	2633	2004	4354
1991	2685	2005	3209
1992	3375	2006	4567
1993	3984	2007	5601
1994	4336	2008	5309
1995	4340	2009	5016
1996	4167	2010	5248
1997	4362	2011	5485
1998	5072	2012	4926
1999	4954	2013	4772
2000	4405	2014	4482
2001	5157	2015	4350
2002	6894	2016	4611
2003	2347	2017	4594

3.2.3.2.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Igual que para la categoría 1.A.3.d.ii Navegación Marítima Nacional que se muestra más adelante.

3.2.3.2.5. RECÁLCULOS

En este inventario se estimó, por primera vez, esta categoría para la serie histórica completa 1990-2017. En los inventarios 2010, 2012 y 2015 se estimó y reportó esta categoría; sin embargo, como se indicó, el consumo de IFO 380 reportado para esos años era menor al consumido por las embarcaciones, por lo que se realizó el recálculo de estos años obteniendo los valores de consumo del cuadro 3.11 y las emisiones de la Figura 3.9. La comparativa entre lo reportado en los inventarios anteriores y lo estimado en este inventario se muestra en la Figura 3.10. Para los inventarios 2000 y 2005 también se estimaron estas emisiones; sin embargo, no se puede analizar el recálculo, ya que, como se indicó anteriormente, las emisiones se presentaron de manera agregada junto con aviación internacional.

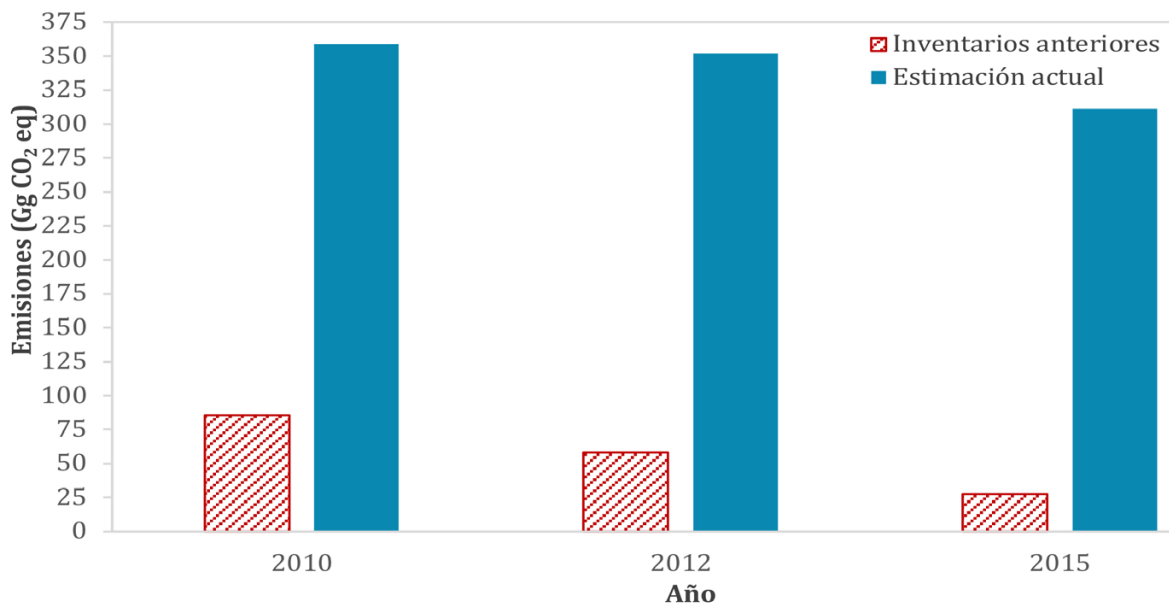


Figura 3.10 Recálculos de las emisiones de navegación marítima internacional.

3.2.3.2.6. PLAN DE MEJORA

Se espera, al menos, relacionar el consumo de combustible con los datos generales de países de destino y carga de embarcaciones, que se encuentran en los anuarios estadísticos del MOPT y JAPDEVA para mejorar esta estimación en inventarios futuros.

3.2.4. Industrias de la energía (1.A.1)

En esa categoría se incluyen las emisiones debidas a la combustión de combustibles utilizados en la extracción de petróleo (no ocurre en el país) y en la producción de energía.

Las emisiones de esta categoría se encuentran divididas en tres subcategorías principales: i) la producción de electricidad y calor (1.A.1a) que incluye las emisiones de producción de energía eléctrica en centrales termoeléctricas, ii) la subcategoría 1.A.1b (refinación de petróleo) incluye las emisiones de la quema de combustibles en la fabricación de combustibles y iii) la manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía (1.A.1c).

Aunque más adelante se analiza en detalle cada una de las subcategorías, en el cuadro 3.12 se muestran las emisiones para cada una de las categorías para los últimos 6 años y para los años de inventario anteriores a 2012; así como, el total de industrias de la energía. Además, en el cuadro 3.13 se presenta la serie completa de emisiones para el total de la categoría por gas.

Cuadro 3.12 Emisiones de la Industria de la Energía (1.A.1) por categoría de fuente en Costa Rica

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	Emisiones anuales (Gg CO ₂ eq)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.1a Producción de electricidad y calor	86,9	459,8	34,5	245,7	541,8	561,8	830,8	747,7	75,8	132,5	31,77
1.A.1b Refinación de petróleo	122,7	96,4	NO	60,7	68,3	33,0	30,1	30,1	30,1	30,3	32,51
1.A.1c Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	1,70	0,74	0,80	0,20	0,21	0,18	0,19	0,23	0,28	0,22	0,14
Total 1.A.1 Industrias de la energía	211,3	556,9	35,3	295,9	610,2	594,9	861,1	778,0	106,2	163,0	64,41

Cuadro 3.13 Emisiones totales de la Industria de la Energía por categoría de fuente por gas emitido

Gas	Emisiones anuales (Gg) excluye CO ₂ biogénico										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	208,63	554,03	33,94	304,63	606,05	590,41	855,63	772,90	103,1	159,8	61,6
CH ₄	0,040	0,039	0,022	0,028	0,059	0,065	0,076	0,071	0,0480	0,0492	0,0440
N ₂ O	0,006	0,007	0,003	0,004	0,009	0,010	0,012	0,012	0,0067	0,0070	0,0060

En 2017, las emisiones totales fueron de 64,41 Gg de CO₂ eq, las cuales fueron 60,5 % menores a las de 2016, 39,3 % menores a las del último inventario nacional reportado (2015) y 69,5 % menores a las reportadas para 1990. En la Figura 3.11 se observa la distribución relativa de las subcategorías de la industria de la energía para 2017, en donde las emisiones se

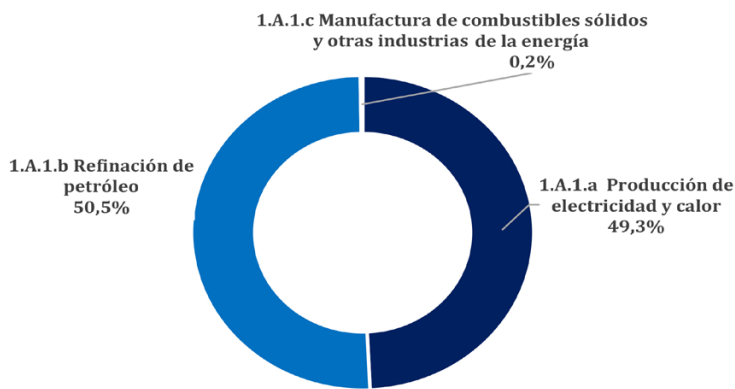


Figura 3.11 Distribución relativa de las emisiones (excluyendo CO₂ biogénico) por categoría de fuente de la industria (1.A.1) de la energía en 2017.

reparten de manera similar para refinación de petróleo y producción de electricidad y calor, mientras que la manufactura de combustibles sólidos apenas aporta. Esta distribución relativa no ha sido igual para la serie histórica. En la Figura 3.12 se observa que, exceptuando 1990, la mayor parte de las emisiones de esta categoría proviene de la producción de electricidad y calor.

Al analizar la tendencia con respecto a 1990, se observa en la Figura 3.13 una gran variabilidad de las emisiones año con año por lo que no se puede concluir si ha ido en aumento o descenso. Esta dispersión de las emisiones para los diferentes años se explica más adelante en el análisis por

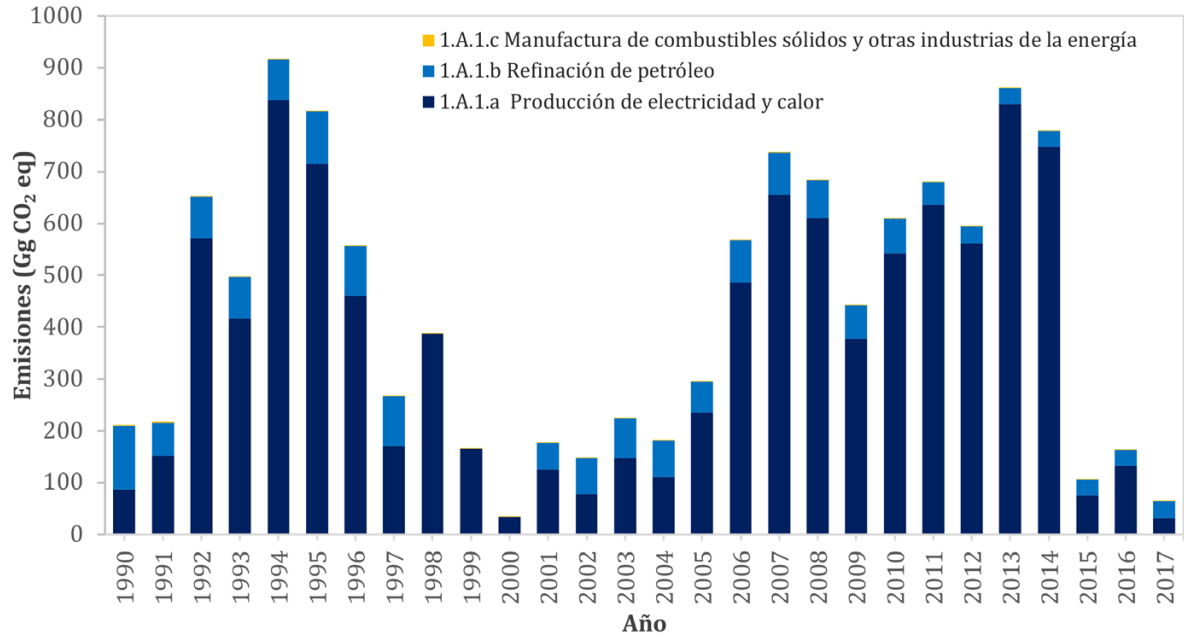


Figura 3.12 Serie histórica 1990-2017 de emisiones de la categoría 1.A.1 por fuente.

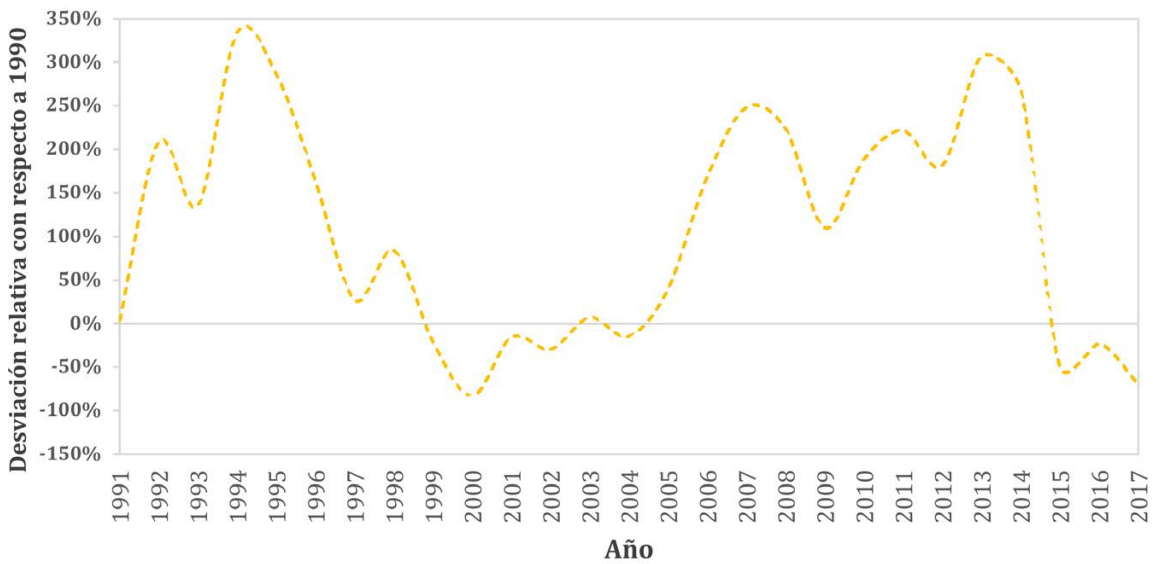


Figura 3.13 Desviaciones relativas de las emisiones de la industria de la energía (1.A.1) con respecto a 1990.

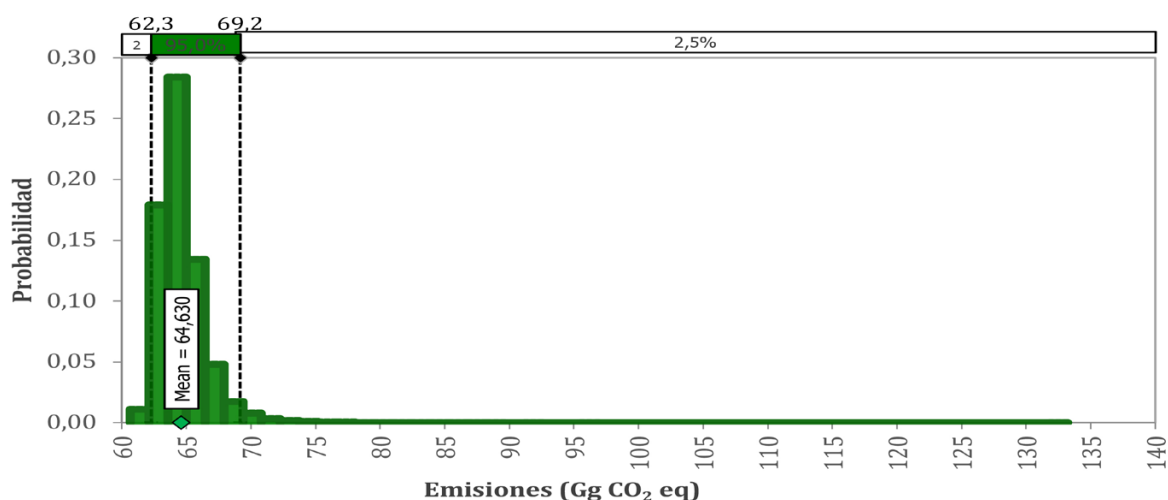


Figura 3.14 Estimación de la incertidumbre por Monte Carlo para las industrias de la energía (1.A.1).

subcategoría. Se debe destacar que en los últimos tres años las emisiones en esta categoría han sido menores que las de 1990.

Para la categoría 1.A.1 completa se realizó una estimación de la incertidumbre utilizando el método de Monte Carlo y se obtuvo una media de las emisiones de 64,63 Gg de CO₂ eq, lo que se traduce en una diferencia de 0,35 % del valor estimado por el modelo de la ecuación 1. Además, se puede concluir, tal como se muestra en la Figura 3.14, que las emisiones para esta categoría se encuentran entre 62,3 Gg y 69,2 Gg de CO₂ eq. Como ya se indicó, el detalle metodológico para las estimaciones de incertidumbre por Monte Carlo se encuentra en el Anexo E.

A continuación, se describe de manera detallada la estimación de emisiones para el período 1990-2017 de las tres fuentes de emisiones de la industria de la energía.

3.2.4.1. PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD Y CALOR (1.A.1A)

3.2.4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

Las emisiones de gases de efecto invernadero de la producción de electricidad y calor en Costa Rica se atribuyen al uso de combustibles en las plantas termoeléctricas que posee el ICE. Aunque actualmente el país posee una matriz eléctrica cuya producción es mayoritariamente renovable, la energía térmica a partir de combustibles fósiles se utiliza como respaldo ante alta demanda o en los casos en las que las hidroeléctricas no puedan suplir adecuadamente debido a períodos de bajas precipitaciones. En esta categoría también se incluyen las emisiones de plantas de generación de electricidad a partir de biomasa.

De acuerdo con el Informe Anual del CENCE (2018), en el año 2017 la producción térmica representó únicamente un 0,33 % (37,42 GWh) de la producción total bruta (11210,1 GWh). Además, la producción con biomasa fue de un 0,78 % (87,52 GWh) del total. En lo referente a emisiones, en 2017, se emitieron 31,8 Gg de CO₂ eq, siendo el año con menos emisiones netas del período 1990-2017 que se muestra en la Figura 3.15. Las emisiones de 2017 disminuyeron un 76 % con respecto a 2016, un 58,1 % comparado al último año reportado (2015) y son 63 % más bajas que 1990.

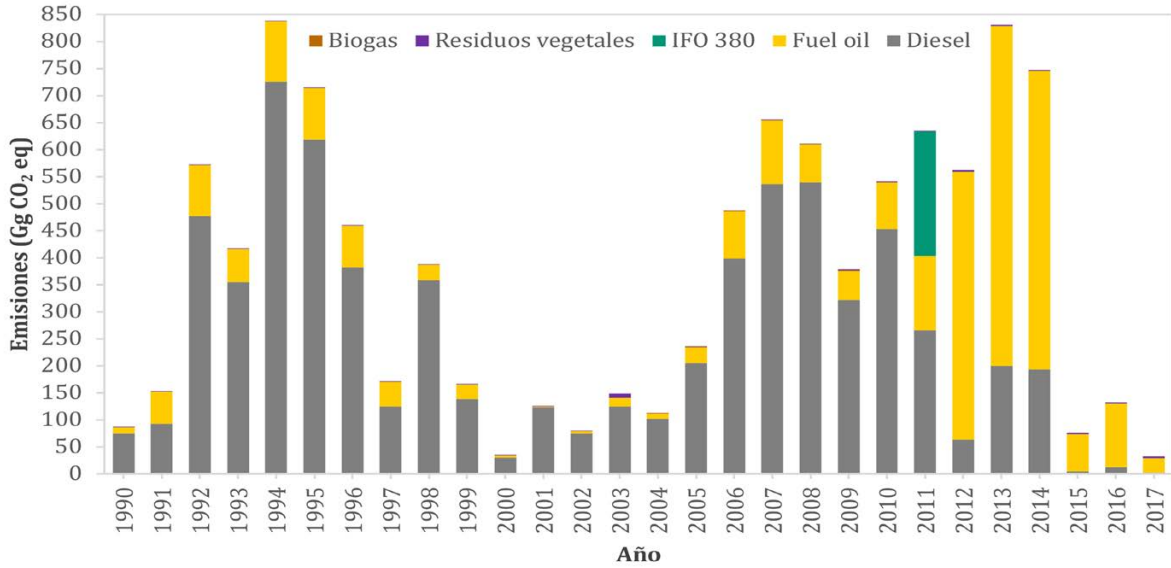


Figura 3.15 Emisiones de producción de electricidad y calor (1.A.1.a), serie 1990-2017 excluye CO₂ de biomasa.

Como se indicó tanto la demanda como las precipitaciones son factores que han contribuido a la gran variabilidad en las emisiones de la producción de electricidad y calor, A estos se les suman algunos otros factores que han hecho que las emisiones históricas sean bajas. Por ejemplo, la salida de operación de la planta térmica de Colima en 2013, la salida de operación de la planta térmica Moín I en 2016 que operaba con fuel oil y, una de las más importantes, y que podría ser un factor de la disminución de emisiones en 2017, fue el arranque de la operación de la planta hidroeléctrica Reventazón en 2016.

La información general sobre las estimaciones de las emisiones de esta categoría se muestra en el cuadro 3.14.

Cuadro 3.14 Información introductoria para la categoría 1.A.1a

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1/Nivel 2	EN	D/CS
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

3.2.4.1.2. METODOLOGÍA

La estimación de las emisiones para esta categoría se realizó siguiendo el método de Nivel 1 para CH₄ y N₂O, mientras que para el CO₂ se utilizó un híbrido entre Nivel 1 y Nivel 2 para las emisiones por el consumo de Diesel y Nivel 1 para los otros que se indican más adelante. En cuanto al nivel híbrido, como se indicó en la Sección 3.2.1, Cuadro 3.5, es resultado de parámetros por defecto y específicos del país. Se utilizó la ecuación 3.1 para estimar las emisiones en los dos niveles utilizados.

Factor de emisión

Para estimar las emisiones de CO₂ por el consumo de Diesel se utilizó el factor de emisión indicado en el cuadro 3.5, mientras que, para el biogás, IFO 380, fuel oil y gasóleo se utilizaron los factores del cuadro 3.4. Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O se encuentran tabulados en el cuadro 3.15.

Cuadro 3.15 Factores de emisión de CH₄ y N₂O de Nivel 1 para la producción de electricidad y calor (1.A.1a)

Combustible	Factor de emisión CH ₄ (kg gas/TJ combustible)	Factor de emisión N ₂ O (kg gas/TJ combustible)
Diesel	3	0,6
Biogás	1	0,1
IF0380	3	0,6
Fuel Oil	3	0,6
Gasóleo	3	0,6
Residuos vegetales	30	4

Dato de actividad

Los datos de actividad corresponden al consumo de combustibles para producción de electricidad en centrales térmicas y en las que operan con biomasa, estos datos se extraen del balance nacional de energía de SEPSE. Los datos para los años anteriores de inventario y para los últimos 6 años se presentan en el cuadro 3.16, los datos para los otros años se encuentran tabulados en el Anexo B (Cuadro B.1.1).

Cuadro 3.16 Consumo de combustible en producción de electricidad y calor (1.A.1a)

Combustible\Año	Consumo de combustible (TJ)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Diesel	1014,4	5144,0	403,3	2764,0	6099,8	850,0	2689,9	2608,9	55,5	162,7	29,5
Fuel oil	144,4	993,2	52,6	371,0	1113,0	6390,0	8093,0	7101,7	891,9	1519,5	349,2
Residuos vegetales	147,0	162,0	250,0	419,0	1043,0	1314,9	1314,9	1247,3	1314,9	1314,9	1314,9
Biogas	NO	NO	NO	195,0	1,1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4

3.2.4.1.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Incertidumbre

El análisis de incertidumbre se realizó utilizando los valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para el método 1. Las incertidumbres de cada combustible, para los parámetros y dato de actividad se muestran en el cuadro 3.17. En el caso del CH₄ y N₂O para estimar incertidumbre por propagación se utilizó un valor único de 100 %, ya que un valor mayor para el intervalo inferior de la incertidumbre significaría un valor negativo de emisiones. Para el caso del CO₂, los valores utilizados fueron los de mayor magnitud entre el valor superior e inferior. Para el dato de actividad se utilizó ±2 % recomendado por el IPCC (2006) para un sistema estadístico menos desarrollado.

Las emisiones para esta subcategoría también se estimaron mediante una simulación de Monte Carlo. Los resultados se encuentran en la Figura 3.16, en donde se concluye que las emisiones de la Producción de energía y calor para el año 2017 fueron 32,17 Gg CO₂ eq y que con una confianza del 95 % se encontrarán entre 30,10 Gg y 36,61 Gg de CO₂ eq.

Cuadro 3.17 Incertidumbre por propagación del error para producción de electricidad y calor (1.A.1a)

Combustible	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
Diesel	CO ₂	2,0	2,0	2,83
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasóleo	CO ₂	2,0	7,0	7,29
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Fuel oil	CO ₂	2,0	2,5	3,17
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Residuos vegetales	CO ₂	2,0	15,3	15,43
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Biogás	CO ₂	2,0	20,9	20,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02

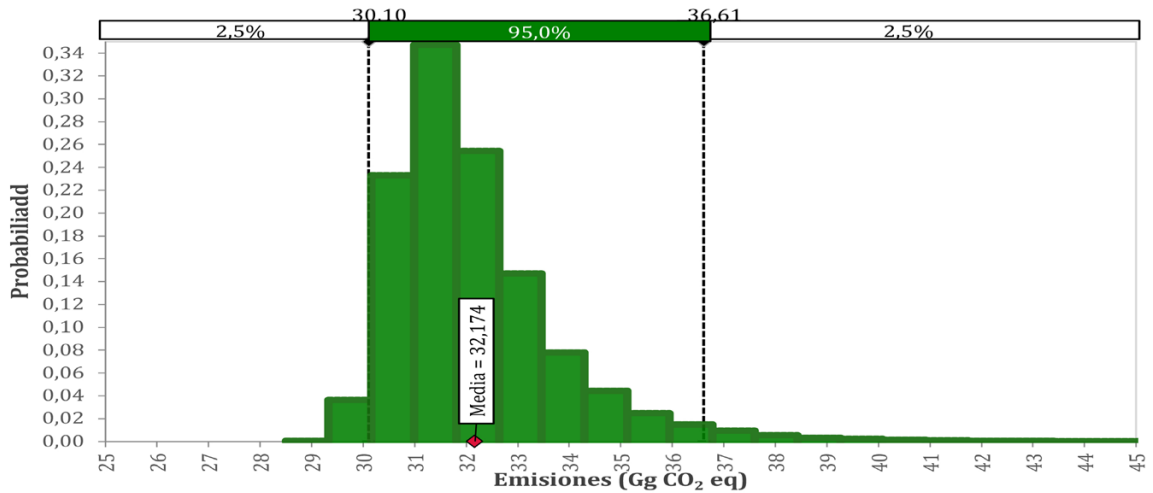


Figura 3.16. Emisiones de la subcategoría 1.A.1a simuladas con Monte Carlo.

Coherencia

Se utilizaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad para todos los años de la serie 1990-2017.

3.2.4.1.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Control de los datos de actividad

Los datos de actividad de 2005 a 2017 se encuentran de manera electrónica por lo que para evitar errores de digitación se copian los valores y se trasladan a las hojas de cálculo de las emisiones,

sobre esto se estará implementando una mejora para el próximo inventario. Para el caso de 1990-2004 los datos se encuentran físicos, agrupados en una sola carpeta y se realiza un chequeo de los valores cada ciclo de inventario.

Control de los factores de emisión

Los factores de emisión se encuentran definidos en las hojas de cálculo para evitar errores de digitación.

Otros controles

Las hojas de cálculo cuentan con chequeos de totales por suma de combustible y por suma de subcategorías para evitar una mala sumatoria de las emisiones. Además, para el sector se cuenta con una lista de chequeo de pasos claves o que se han identificado como puntos a olvidar en el inventario de energía que se muestra en el Anexo D (Cuadro D.1).

Todos los controles se verifican con listas de revisión, las mismas se puede consultar en el Anexo K.

Verificación

Como verificación de las emisiones, aunque es para el total del sector, se realiza la comparación con el método de referencia y los datos de EDGAR mostrada en el apartado 2.1. Además, se puede verificar la tendencia con la generación de energía termoeléctrica, tal como se muestra en la Figura 3.17, hay una coincidencia alta, lo cual es lo esperable.

3.2.4.1.5. RECÁLCULOS

Para los años anteriores de inventario 2015, 2012, 2010 en los que se usó las *Directrices de IPCC de 2006*, y 2005 y 2000 en los que se usó las *Directrices del IPCC de 1996*, no existen cambios significativos en las emisiones de esta subcategoría. En el caso del inventario de 1990, no se presentan emisiones desagregadas a este nivel por lo que es la primera vez que se muestran. Por último, hay un

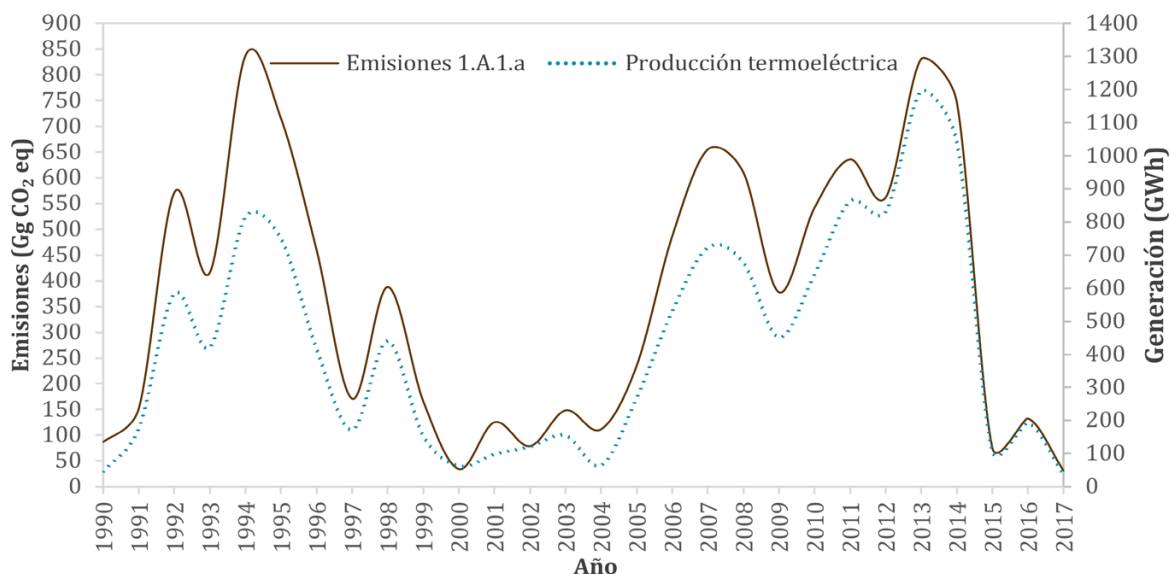


Figura 3.17 Verificación de la tendencia de las emisiones de la categoría 1.A.1a con la generación termoeléctrica.

ajuste en las emisiones de 1996 que se muestra en el cuadro 3.18 y representa una diferencia de 15 % que, posiblemente, se debe al dato de actividad usado y a que en 1996 únicamente se reportaron emisiones de CO₂, excluyendo CH₄ y N₂O.

Cuadro 3.18 Metodologías de estimación de las emisiones de la producción de electricidad y calor utilizadas en inventarios anteriores.

Año de inventario	Metodología utilizada	Diferencias con recálculo
1990	IPCC/OECD (1994)	No existía el nivel de desagregación actual.
1996	IPCC/OECD (1997)	El recálculo fue 59,1 Gg CO ₂ eq mayor.
2000	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	No hay cambios significativos.
2005	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	No hay cambios significativos.
2010	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	No hay cambios significativos.
2012	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	No hay cambios significativos.
2015	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	No hay cambios significativos.

3.2.4.1.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planeadas mejoras en el corto plazo para esta categoría. Únicamente, se estarán modificando las hojas de cálculo para automatizar la carga de los datos del Balance Nacional de Energía para reducir los errores de digitación y otros del compilador.

3.2.4.2. REFINACIÓN DE PETRÓLEO (1.A.1B)

3.2.4.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En Costa Rica la importación, refinado y venta de petróleo y sus derivados está a cargo de una sola empresa, la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE).

Como se observa en todo este documento, los requerimientos de combustibles en el país no son muy altos; por ejemplo, el consumo para producción de energía es bajo. Sumado a lo anterior, de manera general, entre 1990 y 2011, el país suplió los requerimientos de combustible a través de la importación y refinación de petróleo y de la importación de productos derivados. Sin embargo, a partir de ese año el país dejó de refinar, por lo que el suministro desde entonces es 100 % por importación de productos refinados.

En esta categoría, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, se contabilizan las emisiones de todas las actividades de combustión que respaldan la refinación de los productos del petróleo incluyendo la quema en el sitio para la generación de electricidad y calor para uso propio.

Aunque con variaciones, de manera general, las emisiones de la categoría 1.A.1b mostradas en la Figura 3.18 disminuyeron con el tiempo debido a la disminución en la refinación hasta el 2011 (44 Gg CO₂ eq), último año en que se refinó petróleo. Desde ese año hasta el 2017, las emisiones se mantuvieron constantes ya que se atribuyen únicamente a bombeo y calentamiento por parte de RECOPE en los diferentes planteles. De 1998 al 2000 no hubo operaciones por parte de RECOPE debido a

mantenimiento y cambios importantes en los procesos de refinación. Las emisiones en 2017 fueron 7,4 % mayores que las de 2016, 8,1 % mayores que las de 2015 y han disminuido un 73,5 % si se comparan con las de 1990.

Para esta categoría, las bases de estimación se muestran en el cuadro 3.19.

Cuadro 3.19 Información introductoria para la categoría 1.A.1b

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1/Nivel 2	EN	D/CS
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

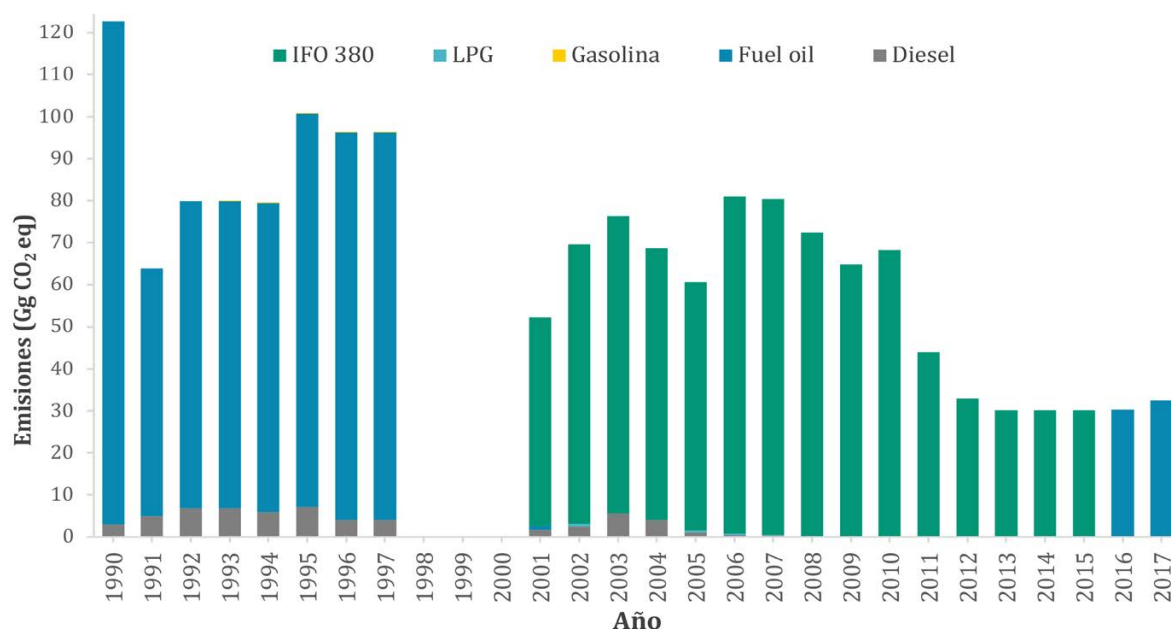


Figura 3.18 Emisiones debidas a la refinación de petróleo (1.A.1.b) serie 1990-2017.

3.2.4.2.2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada es igual a la mostrada en la sección 3.2.4.1.2.

Factor de emisión

Para estimar las emisiones de CO₂ por el consumo de Diesel, gasolina y LPG se utilizó el factor de emisión indicado en el cuadro 3.5, mientras que, para el IFO 380 y fuel oil se utilizaron los factores del cuadro 3.4. Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O se encuentran tabulados en el cuadro 3.20.

Cuadro 3.20 Factores de emisión de CH₄ y N₂O de Nivel 1 para el refinamiento de petróleo (1.A.1b)

Combustible	Factor de emisión CH ₄ (kg gas/TJ combustible)	Factor de emisión N ₂ O (kg gas/TJ combustible)
Diesel	3	0,6
Gasolina	3	0,6
LPG	1	0,1
IFO 380	3	0,6
Fuel Oil	3	0,6

Dato de actividad

Los datos de actividad para los años de inventario y los últimos 6 años se presentan en el cuadro 3.21. Para los otros años los datos de actividad se encuentran en el Anexo B (Cuadro B.1.1).

Cuadro 3.21 Consumo de combustible en la refinación de petróleo (1.A.1b)

Combustible\Año	Consumo de combustible (TJ)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Diesel	41,0	55,0	NO	14,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Fuel oil	1541,0	1188,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	389,7	418,6
Gasolina	NO	1,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
LPG	NO	NO	NO	7,0	3,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO
IFO 380	NO	NO	NO	762,0	876,6	424,4	387,2	387,2	387,2	NO	NO

3.2.4.2.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL***Incertidumbre***

El análisis de incertidumbre se realizó utilizando los valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para el método 1. Las incertidumbres para cada combustible, los parámetros y dato de actividad se muestran en el cuadro 3.22. Se debe indicar que para el CH₄ y N₂O para estimar incertidumbre por propagación se utilizó un valor único de 100 %, ya que un valor mayor para el intervalo inferior de la incertidumbre significaría un valor negativo de emisiones. Para el caso del CO₂, los valores utilizados fueron los de mayor magnitud entre el valor superior e inferior. Para el dato de actividad se utilizó ±2 % como recomendado por el IPCC (2006) para un sistema estadístico menos desarrollado.

La simulación de Monte Carlo para esta subcategoría resultó en 32,41 Gg de CO₂ eq, con un valor que, con 95 % de confianza, estará entre 31,46 Gg y 33,37 Gg de CO₂ eq. La distribución de los valores obtenidos se muestra en la Figura 3.19.

Cuadro 3.22 Incertidumbre por propagación del error para refinación de petróleo (1.A.1b)

Combustible	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
Diesel	CO ₂	2,0	2,0	2,83
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina	CO ₂	2,0	5,3	5,7
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Fuel oil	CO ₂	2,0	2,5	3,17
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
IFO 380	CO ₂	2,0	2,5	3,17
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
LPG	CO ₂	2,0	4,0	4,44
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02

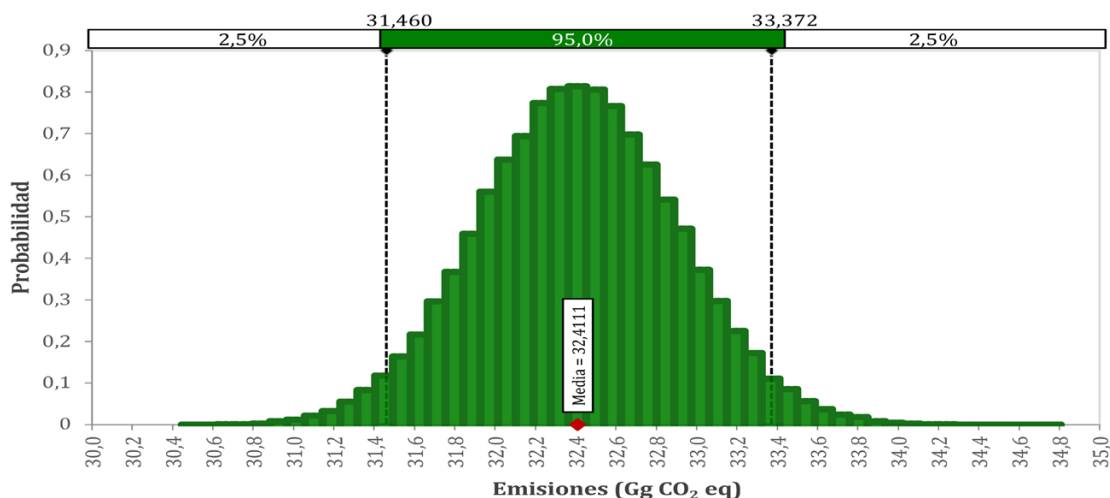


Figura 3.19 Emisiones de la subcategoría 1.A.1b simuladas con Monte Carlo.

Coherencia

Se utilizaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad para todos los años de la serie 1990-2017.

3.2.4.2.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Las mismas descritas en la sección 3.2.4.1.4.

3.2.4.2.5. RECÁLCULOS

Para los años anteriores de inventario 2015, 2012, 2010 en los que usó las *Directrices de IPCC de 2006* y 2005 y 2000 en los que usó las *Directrices del IPCC de 1996* no existen cambios significativos en las emisiones de esta subcategoría. En el caso del inventario de 1990 no se presentan emisiones desagregadas a este nivel por lo que es la primera vez que se muestran. Por último, hay un ajuste en

Cuadro 3.23 Metodologías de estimación de las emisiones de la producción de electricidad y calor utilizadas en inventarios anteriores.

Año de inventario	Metodología Utilizada	Diferencias con recálculo
1990	IPCC/OECD (1994)	No existía el nivel de desagregación actual.
1996	IPCC/OECD (1997)	El recálculo fue 7,4 Gg CO ₂ eq mayor.
2000	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Se recalculó, pero no hay cambios significativos.
2005	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Se recalculó, pero no hay cambios significativos.
2010	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	No hay cambios significativos.
2012	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	No hay cambios significativos.
2015	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	No hay cambios significativos.

las emisiones de 1996 que se muestra en el cuadro 3.23 y representa una diferencia de 8,3 % (mayor para el recálculo) que posiblemente se debe al dato de actividad usado y a que en ese momento no se estimaron las emisiones de CH₄ y N₂O. Todos los otros años de la serie 1990-2017 que no se mencionaron fueron estimados por primera vez en este inventario.

3.2.4.2.6. PLAN DE MEJORA

Igual que en la sección 3.2.4.1.6.

3.2.4.3. MANUFACTURA DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS Y OTRAS INDUSTRIAS DE LA ENERGÍA (1.A.1C)

3.2.4.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

El IPCC (2006) denomina estas emisiones como las atribuidas a la quema de combustibles usados durante la fabricación de productos secundarios y terciarios con combustibles sólidos, incluida la producción de carbón vegetal. En el país, en esta categoría se contabiliza, únicamente, las emisiones debidas al consumo de leña para fabricación de carbón. Las emisiones netas mostradas en la Figura 3.20, para esta categoría son muy bajas debido a que corresponde a emisiones expresadas en CO₂ equivalente de CH₄ y N₂O, ya que, para efectos del inventario, no se contabilizan las emisiones de CO₂ porque provienen de biomasa, las cuales se reportan en la sección 3.4.1 más adelante. Se puede concluir que hay una tendencia a la baja de emisiones desde 1990, aunque no se ha encontrado explicación a los saltos en las emisiones que ocurrieron en 1992-1993 y 2003-2004 (ver plan de

Cuadro 3.24 Información introductoria para la categoría 1.A.1c

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 2 (ver sección 4.1)	EN	CS
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

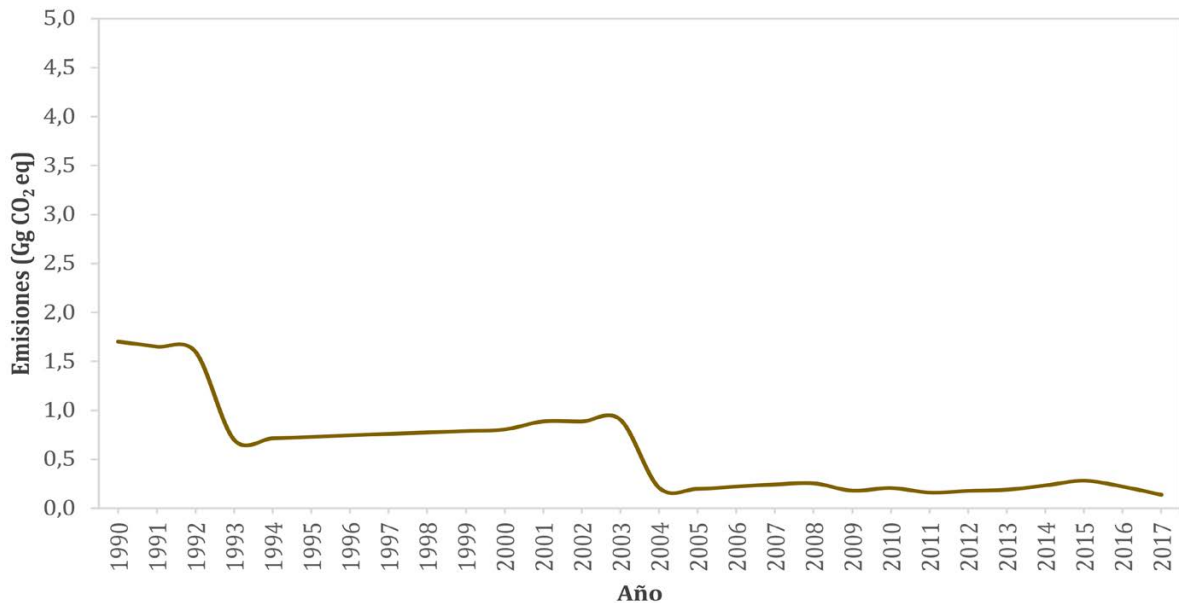


Figura 3.20 Emisiones de la fabricación de combustibles sólidos (1.A.1c).

mejora). En 2017, se emitieron 0,14 Gg CO₂ eq, disminuyendo un 36,6 % en comparación al 2016, con respecto a 2015 disminuyeron un 50 % y desde 1990 las emisiones se han reducido 91,8 %.

Para esta categoría, las bases de estimación se muestran en el cuadro 3.24.

3.2.4.3.2. METODOLOGÍA

La estimación de las emisiones para esta categoría se realizó siguiendo el método de Nivel 1 para CO₂, CH₄ y N₂O. Se utilizó la ecuación 1 de la sección 2.2.1.1.2 para estimar las emisiones.

Factor de emisión

Para estimar las emisiones de CO₂ por el consumo de madera se utilizó el factor del cuadro 3.5. Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O se encuentran tabulados en el cuadro 3.25. Al haber únicamente consumo de madera, las emisiones de CO₂ al ser biogénicas se tratan con mayor detalle en la sección 4.1.

Cuadro 3.25 Factores de emisión de CH₄ y N₂O de Nivel 1 para la producción de combustibles sólidos (1.A.1c)

Combustible	Factor de emisión CH ₄ (kg gas/TJ combustible)	Factor de emisión N ₂ O (kg gas/TJ combustible)
Madera	30	4

Dato de actividad

Los datos de actividad para los años de inventario y para los últimos 6 años se muestran en el cuadro 3.26, mientras que para los otros años se encuentran en el Anexo B (Cuadro B.1.1). Aunque los datos provienen del balance nacional de energía, se realizó una corrección al consumo para el período 2005-2017. SEPSE, responsable del balance de energía, tiene conocimiento del ajuste realizado y que se detalla en el Anexo H.

Cuadro 3.26 Consumo de combustible en la fabricación de combustibles sólidos (1.A.1c)

Combustible\Año	Consumo de combustible (TJ)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Madera	910,0	398,0	430,0	106,0	110,6	94,2	101,3	124,4	150,4	118,0	73,3

3.2.4.3.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Incertidumbre

El análisis de incertidumbre se realizó utilizando los valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para el método 1. Las incertidumbres para cada combustible, los parámetros y dato de actividad se muestran en el cuadro 3.27. Se debe indicar que para estimar incertidumbre por propagación del CH₄ y N₂O se utilizó un valor único de 100 %, ya que un valor mayor para el intervalo inferior de la incertidumbre significaría un valor negativo de emisiones. Para el caso del CO₂, los valores utilizados fueron los de mayor magnitud entre el valor superior e inferior. Para el dato de actividad se utilizó ±2 % recomendado por el IPCC (2006) para un sistema estadístico menos desarrollado.

Cuadro 3.27 Incertidumbre por propagación del error para fabricación de combustibles sólidos (1.A.1c)

Combustible	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
Madera	CO ₂	2,0	17,86	17,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02

La simulación de Monte Carlo para esta subcategoría se muestra en la Figura 3.21. La media de las emisiones es de 0,1647 Gg de CO₂ eq con valor inferior de 0,064 Gg de CO₂ eq y superior de 0,41 Gg de CO₂ eq con un 95 % de confianza.

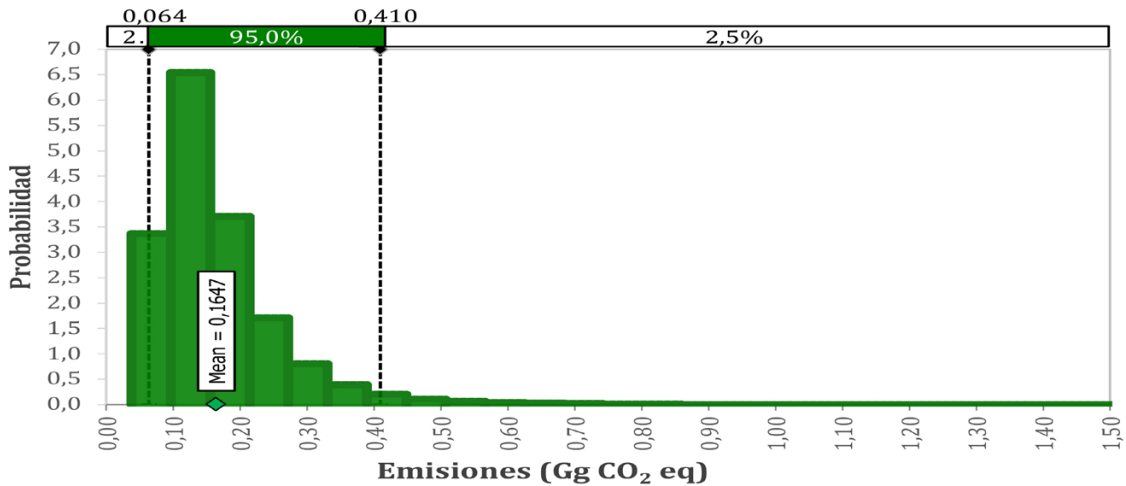


Figura 3.21 Emisiones de la subcategoría 1.A.1.c simuladas con Monte Carlo.

Coherencia

Se utilizaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad para todos los años de la serie 1990-2017 ya que no se identificaron cambios en políticas o tecnologías que pudieran afectar esa estimación. (ver sección 3.2.4.3.6).

3.2.4.3.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Las mismas descritas en la sección 3.2.4.1.4.

3.2.4.3.5. RECÁLCULOS

Tal como se indicó, el consumo de madera para la subcategoría 1.A.1.c se ajustó para el período 2005-2017 por lo tanto cambiaron las emisiones para los inventarios anteriores publicados (2010, 2012 y 2015). Para el resto de los años es la primera vez que se publican emisiones en esta

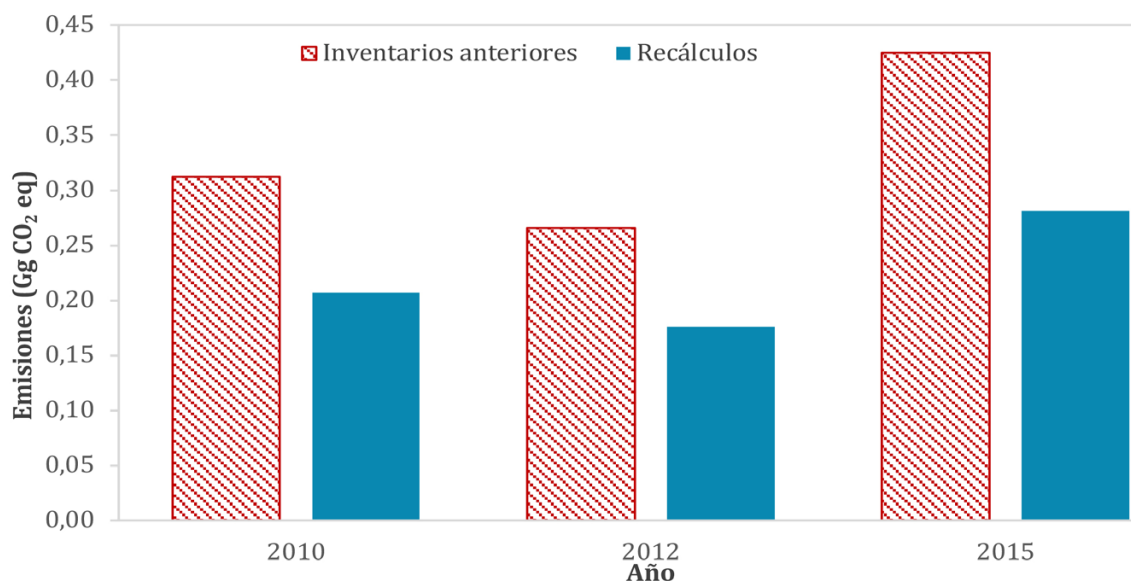


Figura 3.22 Recálculos para la categoría 1.A.1c Fabricación de combustibles sólidos.

subcategoría de manera desagregada. Los recálculos se muestran en la Figura 3.22. En el caso de CO₂, al ser biogénico, su estimación y recálculo se tratan de manera detallada en la sección 3.4.1.

3.2.4.3.6. PLAN DE MEJORA

Para esa categoría se realizará a profundidad una revisión de los datos de actividad del período 1990-2004, para esto se coordinará con la SEPSE.

3.2.5. Industrias Manufactureras y de la construcción (1.A.2)

3.2.5.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En esta categoría se encuentran contabilizadas las emisiones por la quema de combustibles en la industria, incluyendo la quema para la generación de electricidad y calor para el uso propio en estas industrias. Como se observa en la Figura 3.2, las emisiones de esta categoría han representado la segunda principal fuente de emisiones del sector, siendo en 2017 un 16,2 % (1288,1 Gg CO₂ eq). La Figura 3.23 muestra la distribución relativa de las emisiones por tipo de industria, en donde se observa que el

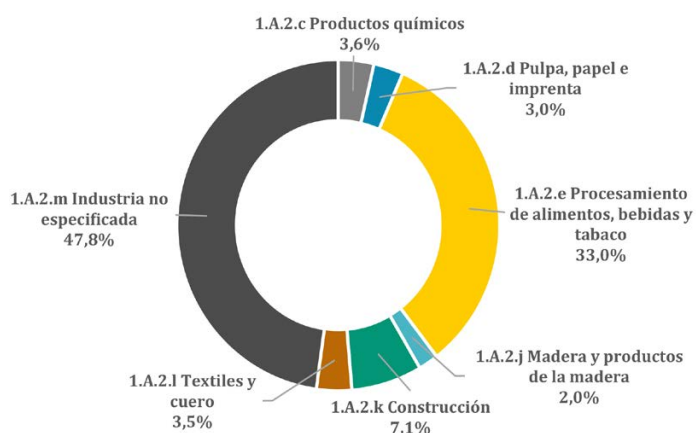


Figura 3.23 Distribución relativa de las emisiones por tipo de industria manufacturera y de la construcción.

mayor aporte corresponde a las emisiones de industrias no especificadas (minerales no metálicos, plásticos, caucho, metales, fabricación de maquinaria); seguido, con 33 % se encuentra la industria del procesamiento de bebidas y tabaco. El tipo de industria que presentó menor cantidad de emisiones fue la de papel con 3,0 % de las emisiones del sector. Para el período 1990-2004 no ha sido posible una desagregación por tipo de industria.

Las emisiones por tipo de industria para los años de reporte de inventario anteriores y los últimos seis años se muestran en el cuadro 3.28, además, para la serie completa las emisiones se muestran en la Figura 3.24. Las emisiones crecieron un 8 % en el último año, con respecto a 2015 crecieron un 14,6 % y desde 1990 ha ocurrido un crecimiento de 105 %.

Cuadro 3.28 Emisiones de la industria manufacturera y de la construcción (1.A.2) por tipo de industria

Subcategoría de fuentes de GEI	Emisiones anuales (Gg CO ₂ eq) excluye CO ₂ biogénico										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.2c Productos químicos	IE	IE	IE	58,8	56,2	52,9	47,2	45,5	38,8	35,9	45,9
1.A.2d Pulpa, papel e imprenta	IE	IE	IE	9,1	33,2	29,3	34,81	33,48	35,86	37,3	38,41
1.A.2e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	IE	IE	IE	498,7	427,7	415,2	378,81	362,01	377,61	407,9	425,3
1.A.2j Madera y productos de la madera	IE	IE	IE	16,9	16,3	22,3	21,95	22,78	23,17	24,4	25,7
1.A.2k Construcción	IE	IE	IE	56,5	44,6	52,9	56,56	76,75	81,22	81,8	91,1
1.A.2l Textiles y cuero	IE	IE	IE	78,9	50,5	47,8	44,50	41,22	42,72	44,2	45,4
1.A.2m Industria no especificada	IE	IE	IE	369,0	459,4	551,6	557,28	553,01	524,76	561,5	616,0
Total 1.A.2.	627,9	733,9	924,1	1087,9	1087,9	1172,0	1141,1	1134,8	1124,2	1193,0	1287,9

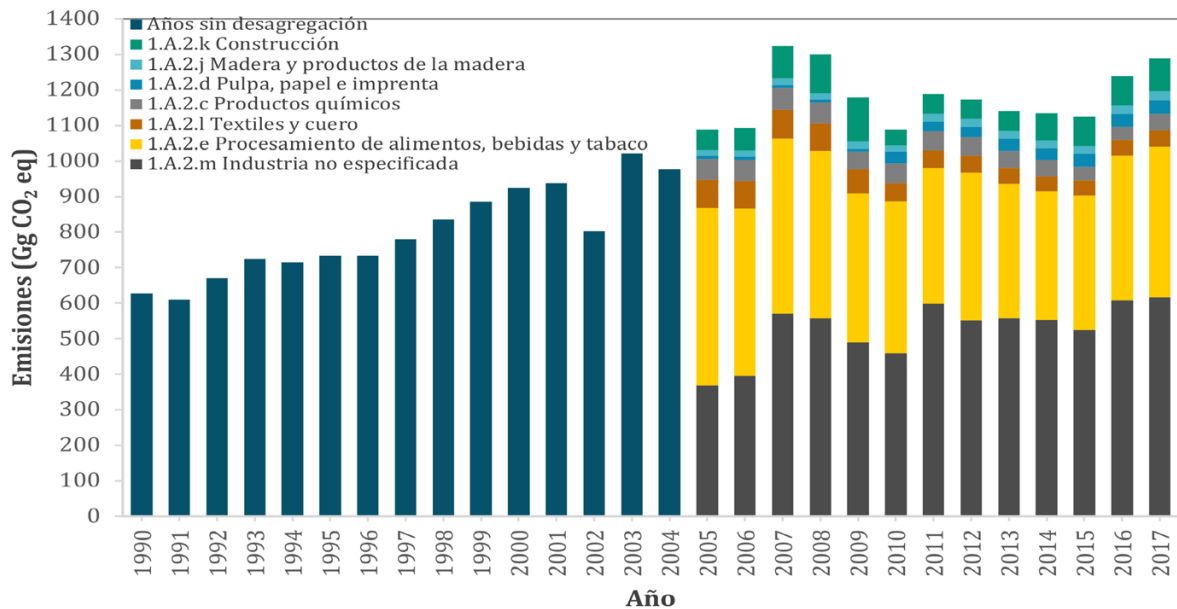


Figura 3.24 Histórico de emisiones por tipo de industria en la categoría de manufactura y construcción (1.A.2).

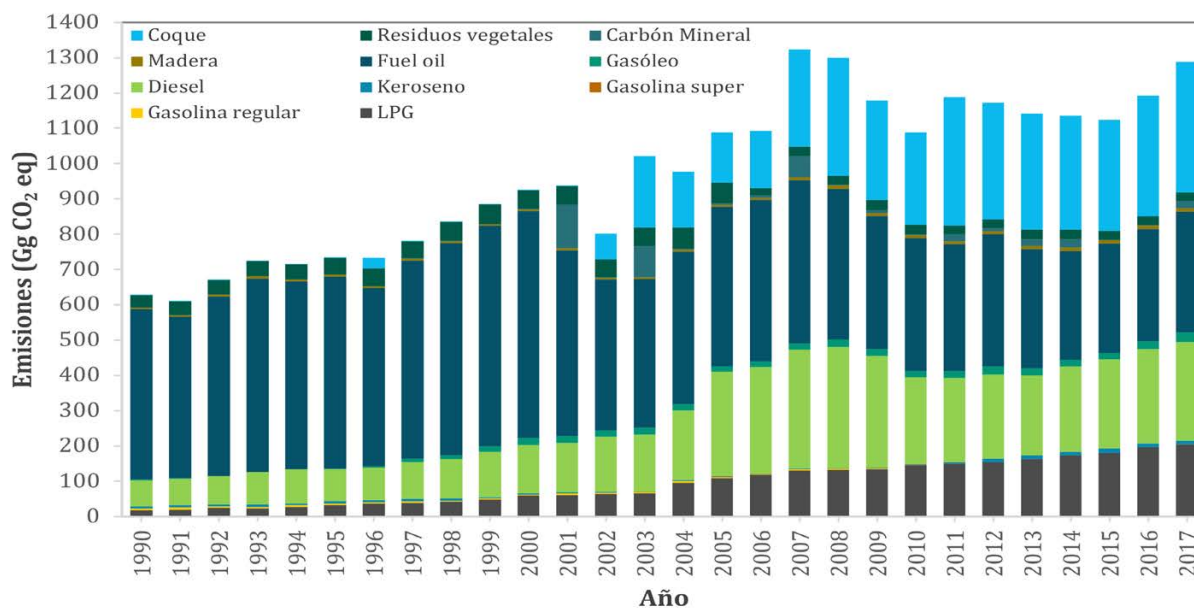


Figura 3.25 Histórico de emisiones por tipo de combustible en la categoría de manufactura y construcción (1.A.2).

Las emisiones para la serie histórica también se pueden analizar por tipo de combustible, tal como se muestran en la Figura 3.25. Como se verá más adelante, el Diesel y el Fuel oil son los combustibles que más se consumen en la industria, también se observa que el LPG y el Coque han ido en aumento. La disminución de las emisiones en 2002 se explica debido a que ese año se consumió menos carbón mineral y coque.

Las emisiones por tipo de gas se muestran en el cuadro 3.29.

Cuadro 3.29 Emisiones de la industria manufacturera y de la construcción (1.A.2) por tipo de gas.

Gas	Emisiones anuales (Gg) excluye CO ₂ biogénico										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	585,90	675,89	863,52	1021,20	1050,36	1136,65	1102,63	1095,04	1086,0	1154,4	1250,7
CH ₄	1,398	1,967	2,051	2,275	0,592	0,556	0,607	0,627	0,6008	0,6091	0,5848
N ₂ O	0,041	0,054	0,056	0,061	0,081	0,076	0,083	0,086	0,0822	0,0834	0,0804

Para entender de manera general las estimaciones de las emisiones de esta categoría se muestra la información del cuadro 3.30.

Cuadro 3.30 Información introductoria para la categoría 1.A.2.

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1/Nivel 2	EN	D/CS
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

3.2.5.2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada es igual a la mostrada en la sección 3.2.4.1.2.

Factor de emisión

Para estimar las emisiones de CO₂ por el consumo de LPG, Diesel y gasolina se utilizó el factor de emisión indicado en el cuadro 3.5. Para el resto de combustibles se utilizaron los factores del cuadro 3.4. Los factores de emisión para el para CH₄ y N₂O se encuentran tabulados en el cuadro 3.31.

Dato de actividad

Los datos de actividad para los años de inventario y los últimos 6 años se presentan en el cuadro 3.32, para los otros años los datos de actividad se encuentran en el Anexo B (Cuadro B.1.2). Estos fueron obtenidos de los balances nacionales de energía de SEPSE para 2005-17, mientras que para 1990-2004 los datos más actualizados fueron suministrados por SEPSE y, únicamente, se encuentran de manera agregada.

Cuadro 3.31 Factores de emisión de CH₄ y N₂O de Nivel 1 para la industria de la manufactura y construcción (1.A.2)

Combustible	Factor de emisión CH ₄ (kg gas/TJ combustible)	Factor de emisión N ₂ O (kg gas/TJ combustible)
LPG	1	0,1
Gasolina regular	3	0,6
Gasolina super	3	0,6
Nafta liviana	3	0,6
Keroseno	3	0,6
Diesel	3	0,6
Gasóleo	3	0,6
Fuel oil	3	0,6
Madera	30	4
Carbón Mineral	10	1,5
Residuos vegetales	30	4
Carbón vegetal	200	4
IFO 380	3	0,6
Coque	3	0,6

Cuadro 3.32 Datos de actividad para la industria de la manufactura y construcción (1.A.2)

Combustible\Año	Consumo de combustible (TJ)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.2.c Productos químicos											
LPG	IE	IE	IE	26,2	29,22	48,3	53,6	60,3	62,3	68,1	88,0
Gasolina	IE	IE	IE	4,9	1,53	0,04	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	NO	3,02	3,2	2,9	2,5	2,5	3,3	2,9
Diesel	IE	IE	IE	354,2	208,02	130,3	100,2	89,5	94,4	107,6	107,1
Gasóleo	IE	IE	IE	7,4	81,01	70,8	72,3	62,5	NO	NO	NO
Fuel oil	IE	IE	IE	385,8	419,14	445,9	397,0	389,6	356,3	301,5	414,6
1.A.2.d Pulpa, papel e imprenta											
Madera	IE	IE	IE	216,0	228,23	325,1	351,3	373,4	373,5	389	404,8
LPG	IE	IE	IE	3,6	3,98	15,7	18,4	21,7	22,4	25	31,7
Gasolina Regular	IE	IE	IE	0,8	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Diesel	IE	IE	IE	10,2	62,02	18,5	18,0	37,5	101,5	111	126,5
Gasóleo	IE	IE	IE	1,9	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Fuel oil	IE	IE	IE	96,7	360,03	339,6	407,7	368,6	337,4	344	338,0
1.A.2.e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco											
Madera	IE	IE	IE	2236,4	388,2	346,5	346,9	341,5	341,5	355,4	370,2
Residuos vegetales	IE	IE	IE	10797,0	14607,3	10515,7	12379,1	12798,0	12531,1	12482,5	12053,8

Cuadro 3.32 Continuación

Combustible\Año	Consumo de combustible (TJ)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
LPG	IE	IE	IE	1055,1	1254,7	1056,5	1060,3	1082,5	1134,9	1289,7	1455,2
Gasolina Regular	IE	IE	IE	1,9	4,3	NO	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
Keroseno	IE	IE	IE	30,7	18,1	30,3	15,3	NO	NO	NO	NO
Diesel	IE	IE	IE	1720,0	1591,9	1449,5	1328,1	1321,6	1374,8	1466,0	1578,5
Gasóleo	IE	IE	IE	58,0	11,9	8,7	6,3	NO	7,0	69,3	64,1
Fuel oil	IE	IE	IE	3021,7	2569,4	2801,5	2417,4	2199,2	2306,3	2423,7	2421,4
1.A.2.j Madera y productos de la madera											
Madera	IE	IE	IE	91,8	3209,6	3481,2	3616,3	3699,7	3700,4	3850,5	4010,6
Residuos vegetales	IE	IE	IE	NO	NO	2137,4	1964,7	2054,5	1513,1	1513,1	738,0
LPG	IE	IE	IE	56,9	63,6	67,7	71,1	75,7	78,3	85,6	110,6
Gasolina	IE	IE	IE	4,0	1,23	0,03	NO	NO	NO	NO	NO
Diesel	IE	IE	IE	123,9	69,1	85,8	76,8	76,4	85,2	97,3	98,1
Gasóleo	IE	IE	IE	0,9	NO	0,1	0,1	NO	NO	NO	NO
Fuel oil	IE	IE	IE	45,4	14,2	14,4	16,9	20,0	27,6	22,2	32,7
1.A.2.k Construcción											
Diesel	IE	IE	IE	641	451,8	563,3	651,7	897,4	889,9	871,4	935,6
Gasóleo	IE	IE	IE	77	115,4	129,0	104,8	135,1	191,4	194,2	271,3
Fuel oil	IE	IE	IE	40	31,2	19,2	4,2	NO	10,9	33,8	18,1
1.A.2.l Textiles y cuero											
LPG	IE	IE	IE	97,8	109,2	46,5	37,1	27,0	27,9	30,5	39,4
Gasolina	IE	IE	IE	43,2	14,3	0,3	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	1,2	0,7	1,2	0,6	NO	NO	NO	NO
Diesel	IE	IE	IE	537,2	323,5	381,3	343,7	342,1	377,9	428,1	429,9
Gasóleo	IE	IE	IE	7,2	14,3	66,4	97,8	78,0	52,0	26,8	37,1
Fuel oil	IE	IE	IE	374,9	224,8	147,5	119,7	106,7	115,9	109,2	105,5
1.A.2.m Industria no especificada											
Carbón Mineral	IE	IE	IE	45	29,9	91,9	204,3	248,1	14,0	13,5	214,0
Madera	IE	IE	IE	90	95,1	150,5	164,7	177,0	177,1	184,3	191,9
Residuos vegetales	IE	IE	IE	NO	NO	282,6	144,3	198,1	189,1	256,1	297,8
Coque	IE	IE	IE	1446	2675,4	3382,8	3359,3	3288,3	3211,7	3494,0	3786,5
LPG	IE	IE	IE	482	831,5	1206,6	1336,5	1478,5	1528,9	1606,2	1498,3
Gasolina	IE	IE	IE	0,9	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	2,9	1,7	106,4	123,2	141,8	164,8	157,1	150,1
Diesel	IE	IE	IE	581,5	621,4	586,8	522,2	466,5	472,4	500,6	486,8
Gasóleo	IE	IE	IE	36,2	7,4	5,4	3,9	NO	NO	NO	NO
Fuel oil	IE	IE	IE	1887,2	1228,9	1074,8	984,2	887,6	839,5	873,3	1067,8
Total 1.A.2											
LPG	277,0	578,0	937,0	1722,0	2292,2	2441,3	2577,0	2745,7	2854,8	3104,8	3223,1
Gasolina regular	74,0	60,0	48,0	47,6	16,8	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
Gasolina super	NO	NO	2,0	8,0	4,5	0,03	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	87,0	93,0	42,4	34,8	23,6	141,1	142,0	144,4	167,4	160,3	153,0
Diesel	985,9	1220,0	1838,8	3968,2	3327,8	3215,4	3040,6	3231,1	3396,1	3582,4	3762,5
Gasóleo	44,4	57,7	282,3	188,8	230,0	280,4	285,2	275,6	250,4	290,3	372,5
Fuel oil	6197,3	6498,2	8256,6	5851,4	4847,6	4842,9	4347,1	3971,7	3993,9	4108,1	4398,1
Madera	2572,3	2964,1	2855,0	2634,2	3921,1	4303,4	4479,2	4591,7	4592,5	4778,8	4977,5
Carbón Mineral	3,0	2,0	15,0	45,4	29,9	91,9	204,3	248,1	14,0	13,5	214,0
Residuos vegetales	6493,4	9263,5	9666,7	10797	14607,3	12935,6	14488,1	15050,6	14233,3	14251,7	13089,6
Coque	7,0	315,0	2,0	1445,6	2675,4	3382,8	3359,3	3288,3	3211,7	3494,0	3786,5

3.2.5.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia

Se utilizaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad para todos los años de la serie 1990-2017.

Incertidumbre

La incertidumbre se estimó como se indica en la sección 3.2.4.1.3, con los valores del cuadro 3.33.

Para esta categoría también se realizó la estimación de las emisiones mediante una simulación de Monte Carlo, en donde se obtuvo como media de las emisiones 1294,4 Gg de CO₂ eq, y se puede asegurar con un 95 % de confianza que las emisiones se encontrarán, para esta categoría, entre 1230,0 Gg y 1370,6 Gg de CO₂ eq. Los resultados de la distribución de las iteraciones de la simulación se encuentran graficadas en la Figura 3.26.

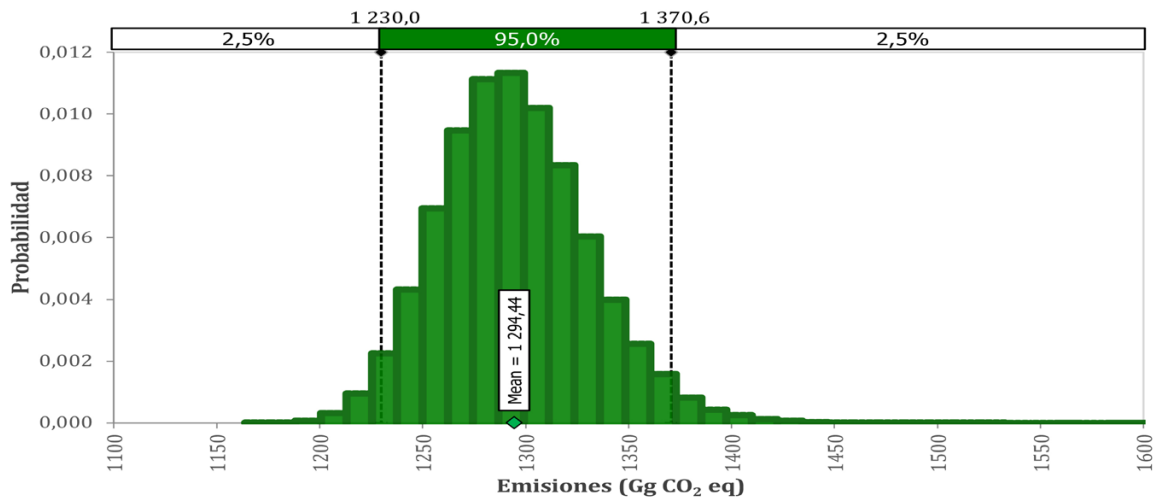


Figura 3.26 Emisiones de la subcategoría 1.A.2 simuladas con Monte Carlo.

Coherencia

Se utilizaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad para todos los años de la serie 1990-2017.

3.2.5.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Las mismas descritas en la sección 3.2.4.1.4.

3.2.5.5. RECÁLCULOS

Los detalles de los recálculos se muestran en el cuadro 3.34. Para 1990 no existía desagregación a este nivel, por lo que es la primera vez que se presentan estas estimaciones. Para el 2000 la diferencia se debe tanto a metodología como a datos de actividad, mientras que para el 2005, 2010, 2012 y 2015 SEPSE realizó pequeños ajustes en los consumos de residuos vegetales, madera, LPG, Fuel oil y Diesel en los balances de energía que derivaron en los recálculos de emisiones mostrados

Cuadro 3.33 Incertidumbre por propagación del error para industrias de manufactura y construcción (1.A.2)

Combustible	Incertidumbre de los datos de la actividad		Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
	Gas	(±%)		
LPG	CO ₂	2,0	4,0	4,44
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina regular	CO ₂	2,0	5,3	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina super	CO ₂	2,0	5,3	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Keroseno	CO ₂	2,0	5,5	5,81
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Diesel	CO ₂	2,0	2,0	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasóleo	CO ₂	2,0	2,0	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Fuel oil	CO ₂	2,0	2,5	3,17
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Madera	CO ₂	2,0	17,9	17,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Carbón Mineral	CO ₂	2,0	5,4	5,75
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Residuos vegetales	CO ₂	2,0	17,0	17,12
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Carbón vegetal	CO ₂	2,0	17,9	17,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
IFO 380	CO ₂	2,0	2,5	3,17
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Coque	CO ₂	2,0	18,0	18,06
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02

en la Figura 3.27. La mayor diferencia se muestra en 1996 (16,7 %) debido a cambios en el método y en los datos de actividad; además, para ese año no se había reportado las emisiones de CH₄ y N₂O. Para el resto de los años, los cálculos se presentan por primera vez.

Cuadro 3.34 Metodologías de estimación de las emisiones de manufactura y construcción (1.A.2) utilizadas en inventarios anteriores.

Año de inventario	Metodología utilizada	Diferencias con recálculo
1990	IPCC/OECD (1994)	No existía el nivel de desagregación actual. Cambio en método y DA.
1996	IPCC/OECD (1997)	Cambios en método y DA. Se recalculó.
2000	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Cambio en método y DA. Se recalculó.
2005	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Cambio en método y DA. Se recalculó.
2010	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó

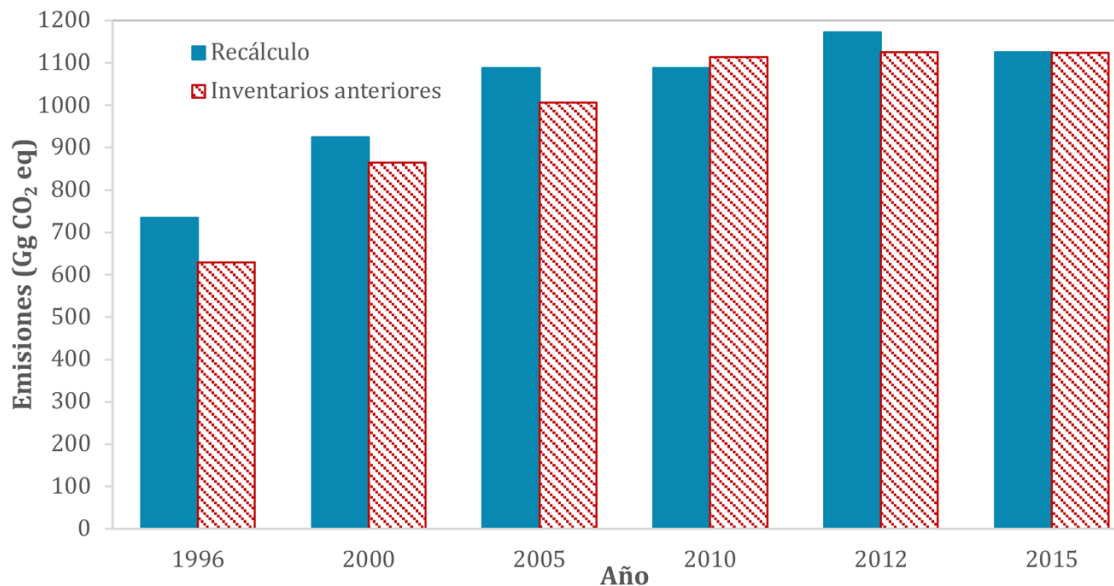


Figura 3.27 Recálculos de emisiones para la industria manufacturera y de la construcción (1.A.2).

2012	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó.
2015	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó.

3.2.5.6. PLAN DE MEJORA

Al igual que las otras categorías se espera revisar a profundidad los datos de actividad de 1990 a 2004.

3.2.6. Transporte (1.A.3)

3.2.6.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* en esta categoría se contabilizan las emisiones por la quema de combustible en todas las actividades de transporte incluyendo aéreas, terrestres y marítimas. El detalle de las categorías incluidas se muestra en el cuadro 3.35.

Cuadro 3.35 Subcategorías de fuente del transporte (1.A.3) estimadas en este inventario

Categoría de fuente de GEI	Explicación
1.A.3a.i Aviación de cabotaje.	Emisiones del tráfico civil de cabotaje de pasajeros y de carga que aterriza y llega al mismo país (vuelos comerciales, privados, agrícolas, etc.), incluyendo despegues y aterrizajes.
1.A.3b Transporte terrestre	Todas las emisiones de la quema y la evaporación que emanan del uso de combustibles en vehículos terrestres, incluido el uso de vehículos agrícolas sobre carreteras pavimentadas.
1.A.3b.i Automóviles	Emisiones de automóviles designados como tales en el país que los registra principalmente para el transporte de personas y, habitualmente, con una capacidad de 12 personas o menos.
1.A.3b.ii Camiones para servicio ligero	Emisiones de vehículos designados como tales en el país que los registra principalmente para transporte de carga ligera o equipados con características especiales como tracción en cuatro ruedas para operación fuera de carretera. El peso bruto del vehículo oscila entre los 3500 y 3900 kg o menos.
1.A.3b.iii Camiones para servicio pesado y autobuses	Emisiones de todos los vehículos designados como tales en el país. Habitualmente, el peso bruto del vehículo oscila entre 3500 y 3900 kg o más para camiones pesados y los autobuses están calificados para transportar a más de 12 personas.
1.A.3b.iv Motocicletas	Emisiones de todo vehículo motorizado diseñado para viajar con no más de 3 ruedas en contacto con el pavimento y que pese menos de 680 kg.
1.A.3c Ferrocarriles	Emisiones del transporte por ferrocarriles, tanto en rutas de tráfico de carga como de pasajeros.
1.A.3d Navegación marítima y fluvial	Emisiones de combustibles usados por barcos de todas las banderas que salen y llegan en un mismo país.
1.A.3e Otro transporte	Las emisiones por la quema de todas las demás actividades de transporte, incluidos las actividades en rutas no pavimentadas.

Esta categoría ha sido, históricamente, la mayor fuente neta de emisiones del sector energía y del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Costa Rica. Las emisiones para el 2017 fueron de 6017,16 Gg de CO₂ eq, representando el 75,4 % de las emisiones del sector. De esas emisiones, el 95,8 % son de transporte terrestre, mientras que 0,08 % son de navegación marítima y fluvial. las contribuciones relativas de las otras subcategorías se muestran en la Figura 3.28 a continuación.

Las emisiones en 2017 fueron 2 % mayores que en 2016, con respecto al último inventario (2015) las emisiones crecieron 9 %, mientras que desde 1990 las emisiones han crecido 243,4 %. Es importante mencionar que en el cuadro 3.36 las emisiones para ferrocarriles y para otro transporte de 1990 se encuentran contabilizadas en la categoría 1.A.3b ya que no se cuenta con datos de actividad desagregados a ese nivel. Igual sucede para los años 1991, 1992 y 1993. El histórico

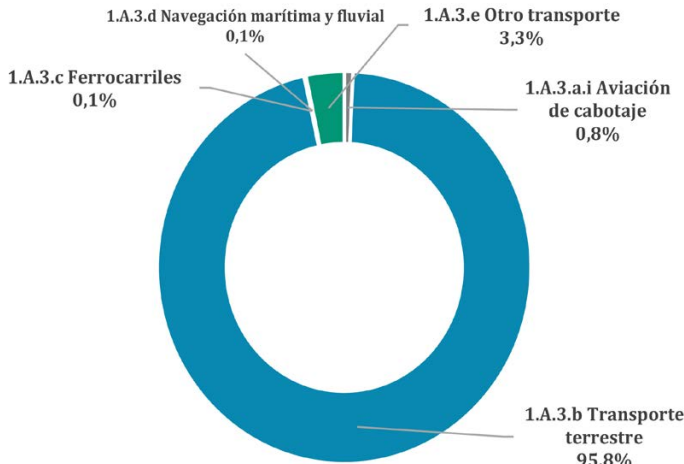


Figura 3.28 Distribución relativa de las emisiones de transporte (1.A.3) para el 2017.

de emisiones para todos los años por subcategoría se muestra en la Figura 3.29. El ferrocarril no operó en el período 1994-2003.

Por tipo de combustible, se muestra que la mayor parte del consumo es de las dos gasolinas y el Diesel. De manera general, las emisiones atribuidas a cada uno de los combustibles quemados en transporte han ido en aumento sostenido desde 1990, excepto en el 2000, en donde se muestra una disminución de las emisiones por consumo de Diesel.

Cuadro 3.36 Emisiones del transporte (1.A.3) por subcategoría

Subcategoría de fuentes de GEI	Emisiones anuales (Gg CO ₂ eq) excluye CO ₂ biogénico										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.3.a.i Aviación de cabotaje	15,3	26,9	27,8	42,5	51,3	39,18	38,0	37,6	42,3	44,0	45,3
1.A.3.b Transporte terrestre	1570,6	2558,5	3121,0	3572,4	4374,5	4749,2	4841,0	4948,0	5285,7	5654,1	5763,7
1.A.3.c Ferrocarriles	IE	NO	NO	1,6	3,4	4,7	5,1	4,9	5,35	5,4	5,2
1.A.3.d Navegación marítima y fluvial	18,1	22,8	30,2	36,7	6,4	4,2	6,8	5,9	6,89	4,3	4,9
1.A.3.e Otro transporte	148,5	196,1	230,3	271,7	319,8	190,2	166,6	169,6	180,49	194,3	198,0
Total 1.A.3	1752,5	2804,2	3409,2	3924,9	4755,5	4987,4	5057,5	5165,9	5520,8	5902,0	6017,2

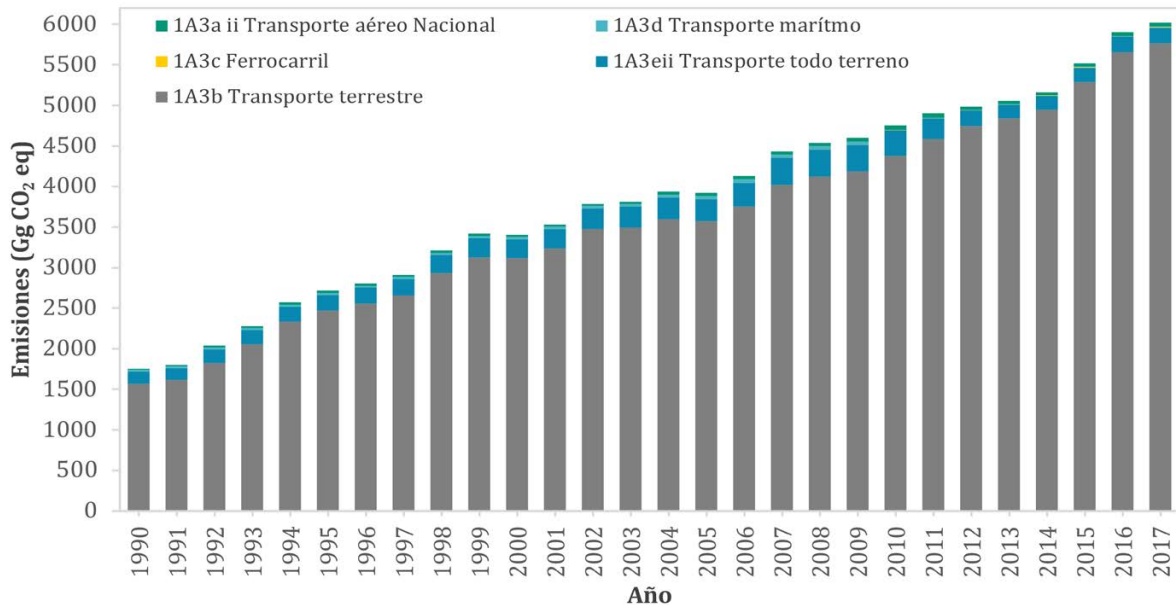


Figura 3.29 Histórico emisiones del transporte (1.A.3) por subcategoría.

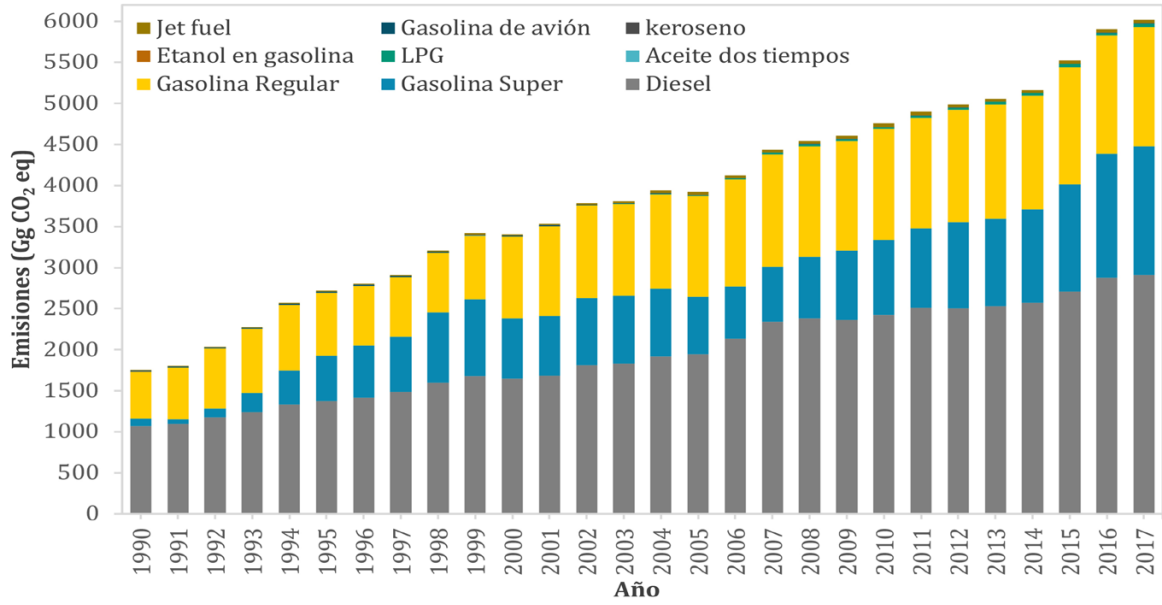


Figura 3.30 Histórico emisiones del transporte (1.A.3) por combustible.

Al ser la categoría con mayores emisiones del sector energía y del inventario, se analizó el crecimiento interanual que han tenido las emisiones. Únicamente en el 2000 y 2005 se registró una disminución de emisiones con respecto al anterior, mientras que el resto de los años sí registraron un crecimiento siendo 1992, 1993 y 1994 los años con mayor valor relativo con más de 11 %. En promedio, las emisiones de CO₂ eq de esta categoría han crecido 4,9 % tal como se muestra en la Figura 3.31.

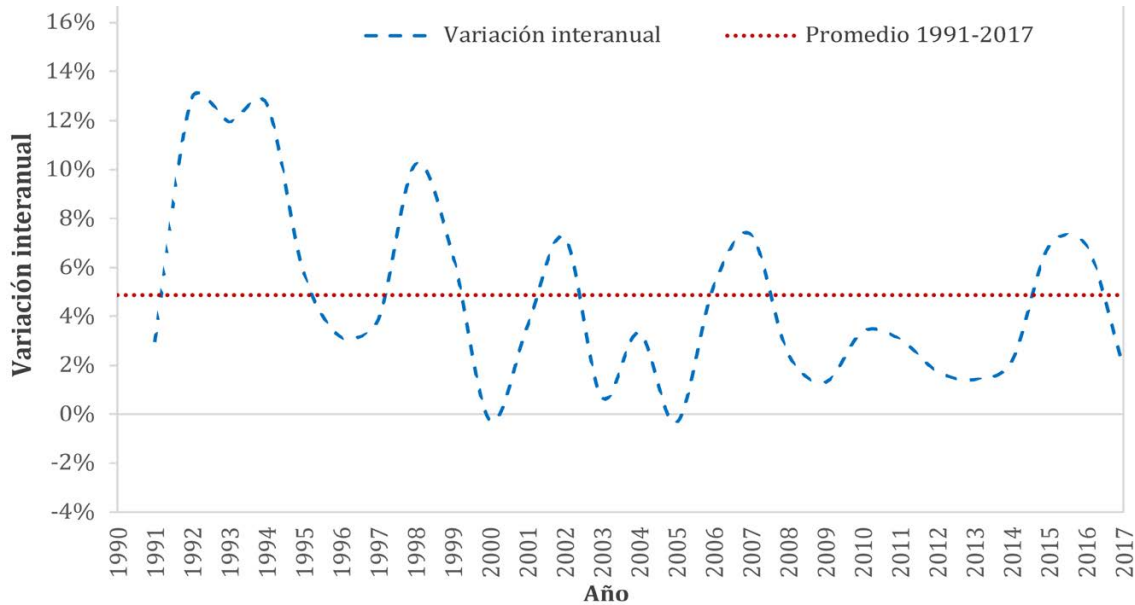


Figura 3.31 Variación interanual de las emisiones de transporte (1.A.3).

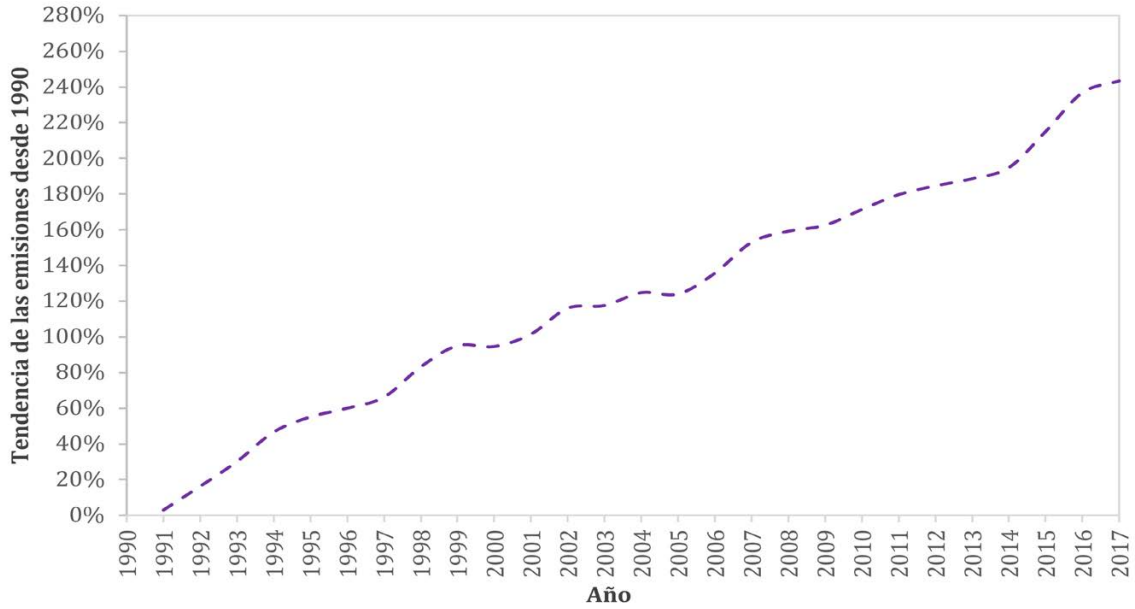


Figura 3.32 Desviaciones relativas de las emisiones del transporte (1.A.3) con respecto a 1990.

En cuanto a la tendencia con respecto al primer año de la serie, se observa en la Figura 3.32 que en todos los años se ha emitido más que 1990 y que ese crecimiento ha ido en aumento hasta llegar al casi 244 % actual.

Por tipo de gas las emisiones para la categoría 1.A.3 se muestran en el cuadro 3.37.

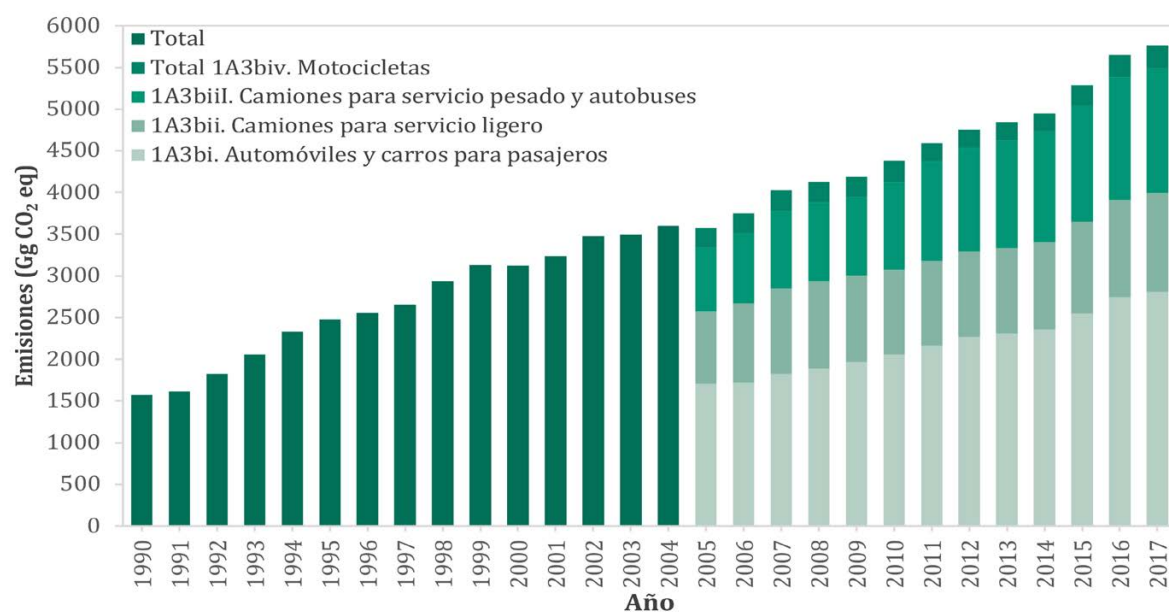
Cuadro 3.37 Emisiones del transporte (1.A.3) por tipo de gas

Emisiones de GEI (Gg)	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	1705,40	2730,89	3320,40	3822,51	4632,55	4871,28	4942,49	5048,52	5394,8	5767,3	5879,9
CH ₄	0,364	0,700	0,883	1,000	1,188	1,269	1,294	1,330	1,4389	1,5406	1,5824
N ₂ O	0,127	0,189	0,227	0,263	0,316	0,289	0,283	0,289	0,3088	0,3299	0,3356

Para el transporte terrestre (categoría 1.A.3.b) las emisiones para cada tipo de vehículo se muestran en el cuadro 3.38, Para el 2017, se alcanzó un máximo histórico y donde los automóviles representaron un 48,7 % de las emisiones del transporte terrestre, seguida de la carga pesada con 25,9 %. En el cuadro se muestra un ajuste por etanol en gasolina, eso se debe a que cierta parte de la energía consumida y contabilizada fue en realidad suministrada por etanol, cuyas emisiones de CO₂ son biogénicas y por eso se restan del total de transporte terrestre. Este consumo de etanol se debió a un plan piloto de mezcla de gasolina con etanol que realizó RECOPE en el período 2006-2012, para el período 2006-2009 y el año 2011, este ajuste se puede encontrar explicado en el Anexo F.

Cuadro 3.38 Emisiones del transporte terrestre (1.A.3b) por tipo de vehículo

Subcategorías de fuentes de GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.3.b.i Automóviles	IE	IE	IE	1709,3	2055,4	2266,6	2306,8	2360,7	2549,3	2742,4	2806,6
1.A.3.b.ii Camiones para servicio ligero	IE	IE	IE	865,7	1019,5	1026,8	1029,87	1045,22	1104,18	1164,63	1187,92
1.A.3.b.iii Camiones para servicio pesado y autobuses	IE	IE	IE	769,6	1044,2	1239,6	1292,86	1322,81	1390,26	1480,41	1495,00
1.A.3.b.iv Motocicletas	IE	IE	IE	227,8	260,5	216,3	211,50	219,26	241,98	266,76	274,26
Ajuste por etanol en gasolina	NO	NO	NO	NO	-5,15	-0,14	NO	NO	NO	NO	NO
Total 1.A.3b	1570,6	2558,5	3121,0	3572,4	4374,5	4749,2	4841,0	4948,0	5285,7	5654,2	5763,7

**Figura 3.33** Histórico de las emisiones de transporte terrestre (1.A.3.b) por tipo de vehículo.

La distribución histórica de las emisiones del transporte terrestre se muestra en la Figura 3.33. Para el período 1990-2004 se muestran las emisiones totales de la subcategoría ya que no se cuenta con el dato desagregado.

La información general de la estimación de las emisiones de esta categoría se encuentra en el cuadro 3.39.

Cuadro 3.39 Información introductoria para la categoría 1.A.3

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 2	EN	D/CS
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

3.2.6.2. METODOLOGÍA

Para esta categoría se utiliza la estimación de Nivel 2 para la estimación de CO₂ debido a que se cuenta con los valores de contenido de carbono nacionales de los combustibles, y Nivel 1 para CH₄ y N₂O. Para ambos niveles y gases se utiliza la ecuación 3.2.

$$\text{Emisiones de GEI} = \sum_a (\text{Combustible}_a * \text{FE}_a) \tag{3.2}$$

Donde:

Emisiones de GEI = emisiones de un gas de efecto invernadero (kg GEI).

Combustible = cantidad de combustible consumido (TJ)

FE= factor de emisión de un gas de efecto invernadero dado por tipo de combustible (kg gas/TJ).

a= tipo de combustible.

Factor de emisión

Para el CO₂ se utilizaron los factores de emisión del cuadro 3.5, mientras que para CH₄ y N₂O se utilizaron los mostrados en el cuadro 3.40 que fueron tomados de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Dato de actividad

Los datos de actividad fueron tomados de los balances nacionales de energía. Para los años de inventario anteriores y los últimos 6 años se reportan en el cuadro 3.41, mientras que para los otros años se encuentran en el Anexo B (Cuadro B.1.3). En el caso de la gasolina de avión consumida en aviación de cabotaje, los datos se obtuvieron directamente de RECOPE, ya que en el balance de energía no se encuentra el dato desagregado por consumo local e internacional.

Cuadro 3.40 Factores de emisión de CH₄ y N₂O de Nivel 1 para el transporte (1.A.3) por subcategoría

Combustible	Factor de emisión CH ₄ (kg gas/TJ combustible)	Factor de emisión N ₂ O (kg gas/TJ combustible)
1.A.3.a.i Aviación de cabotaje		
Jet fuel	0,5	2
Gasolina de avión	0,5	2
1.A.3.b Transporte terrestre		
Gasolina regular	33	3,2
Gasolina super	33	3,2
LPG	62	0,2
Diesel	3,9	3,9
1.A.3.c Ferrocarriles		
Diesel	4,15	28,6
1.A.3.d Navegación marítima y fluvial		
Diesel	3,9	3,9
Gasolina regular	33	3,2
Gasolina super	33	3,2
Keroseno	33	3,2
1.A.3.e Otro transporte		
Diesel	4,15	28,6
Gasolina super	80	2
Gasolina regular	80	2

Cuadro 3.41 Consumo de combustible en el transporte (1.A.3)

97

Combustible\Año	Consumo de combustible (TJ)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.3a.i Aviación de cabotaje											
Gasolina de avión	123,1	172,9	140,2	97,6	58,2	54,4	52,2	48,5	48,4	49,1	53,1
Jet Fuel	91,0	203,3	248,0	493,2	654,5	490,0	476,2	473,6	539,4	561,8	576,5
1.A.3b.i Automóviles											
Diesel	IE	IE	IE	1963,2	2314,2	4835,1	5235,7	5294,8	5567,2	5920,7	6015,4
Gasolina	IE	IE	IE	21484,9	25714,4	26088,7	26254,2	26894,8	29190,0	31502,5	32226,5
LPG	IE	IE	IE	128,7	326,3	239,5	213,1	251,6	267,9	229,3	297,8
1.A.3b.ii Camiones para servicio ligero											
Diesel	IE	IE	IE	10064,5	11863,8	9590,2	9120,3	9224,4	9703,2	10325,5	10492,2
Gasolina	IE	IE	IE	1487,5	1740,3	4084,5	4540,9	4593,7	4889,4	5150,5	5237,4
LPG	IE	IE	IE	0,0	0,0	149,0	236,3	292,2	314,1	229,2	297,6
1.A.3b.iii Camiones para servicio pesado y autobuses											
Diesel	IE	IE	IE	10211,1	13854,6	16447,7	17141,6	17538,3	18431,3	19625,1	19818,1
Gasolina	IE	IE	IE	0,0	0,0	0,0	12,4	13,3	15,2	17,6	18,3
1.A.3b.iv Motocicletas											
Gasolina	IE	IE	IE	3167,5	3622,1	2982,4	2911,6	3018,0	3330,5	3669,8	3771,8
Lubricante dos tiempos	IE	IE	IE	3,6	3,8	4,8	4,4	4,1	3,2	3,2	3,9
Total 1.A.3b											
Diesel	12289	16190	18887	22239	28033	30873	31498	32058	33702	35871	36326
Gasolina Super	1218	8722	10072	9599	12387	14107	14316	15257	17519	20209	20983
Gasolina Regular	7742	9769	13402	16541	18689	19049	19403	19263	19906	20132	20271
Aceite dos tiempos	2	3	4	4	4	5	4	4	3	3	4
LPG	NO	NO	NO	129	326	388	449	544	582	459	595
Etanol en gasolina	NO	NO	NO	NO	74	2	NO	NO	NO	NO	NO
1.A.3.c Ferrocarriles											
Diesel	IE	NO	NO	21,9	45,7	57,0	67,1	64,4	64,4	64,4	62,4
1.A.3.d Navegación marítima y fluvial											
Diesel	51,1	67,3	78,6	92,6	85,0	55,8	90,5	78,3	91,4	57,5	64,8
Keroseno	6,3	4,0	5,6	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gasolina	194,3	245,1	336,3	415,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.A.3.e Otro transporte											
Diesel	IE	NO	2018,0	3110,0	3666,0	2051,8	1755,2	1775,0	1866,3	1984,8	2016,5
Gasolina	IE	2103,0	68,0	185,9	212,2	269,3	282,9	301,7	346,4	399,6	414,9
Etanol usado para mezcla con gasolina	NO	NO	NO	NO	73,6	2,0	NO	NO	NO	NO	NO

Nota: En caso de que se indique 0 en este cuadro, quiere decir que es muy bajo y no debe confundirse con un "NO"

3.2.6.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL.

Incertidumbre

La incertidumbre se estimó como se indica en la sección 3.2.4.1.3, con los valores del cuadro 3.42.

Las estimaciones con simulación de Monte Carlo tuvieron una media para el sector transporte de 5998,79 Gg de CO₂ eq, con un intervalo de confianza de 95 % que va desde 5879 a 6125 Gg de CO₂ eq. Además, la distribución que sigue es normal, tal como se observa en la Figura 3.34.

Coherencia

Se utilizaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad para todos los años de la serie 1990-2017.

3.2.6.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Las mismas descritas en la sección 3.2.4.1.4.

3.2.6.5. RECÁLCULOS

Para 1990, las emisiones no se habían reportado anteriormente de manera desagregada; mientras que, para los inventarios de 1996, 2000, 2005, 2010, 2012 y 2015 los ajustes realizados se encuentran en el cuadro 3.43 y las emisiones reportadas y recalculadas en la Figura 3.35. En 1996 y en el 2000 las diferencias se deben a cambios en los datos de actividad; mientras que, para los otros años, apenas se nota la diferencia de los recálculos. Para el resto de los años esta es la primera vez que se estiman. Otro

Cuadro 3.42 Incertidumbre por propagación del error para el transporte (1.A.3)

Combustible	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
1.A.3.a.i Aviación de cabotaje				
Jet fuel	CO ₂	2,0	4,06	4,52
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina de avión	CO ₂	2,0	5,34	5,70
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
1.A.3.b Transporte terrestre				
Diesel	CO ₂	2,0	2,02	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina regular	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina súper	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
LPG	CO ₂	2,0	3,96	4,44
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
1.A.3.c Ferrocarriles				
Diesel	CO ₂	2,0	2,02	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
1.A.3.d Navegación marítima y fluvial				
Diesel	CO ₂	2,0	2,02	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina regular	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina super	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Keroseno	CO ₂	2,0	2,50	3,20
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
1.A.3.e Otro transporte				
Diesel	CO ₂	2,0	2,02	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina regular	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina súper	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02

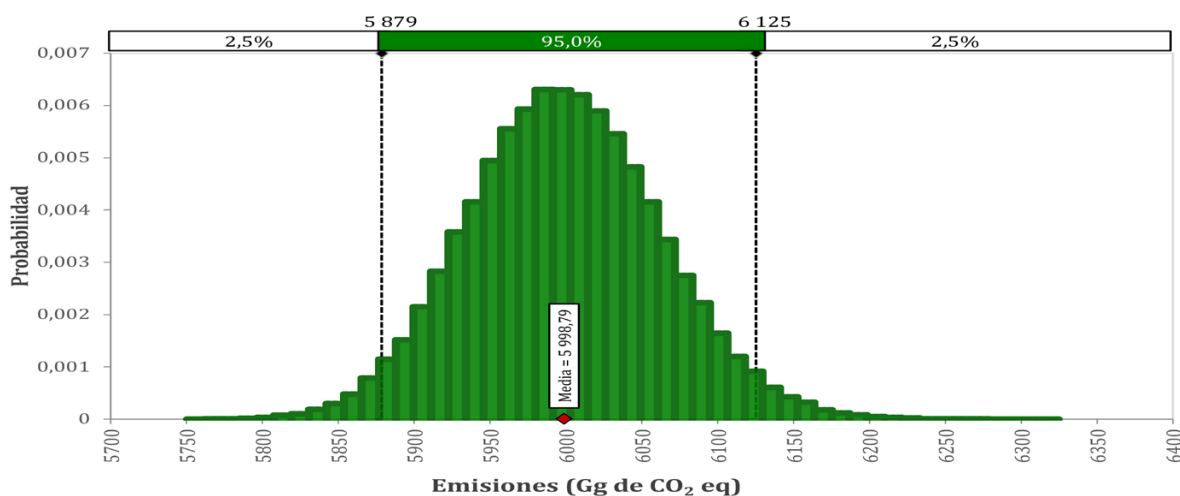


Figura 3.34 Simulación de Monte Carlo para el transporte (1.A.3).

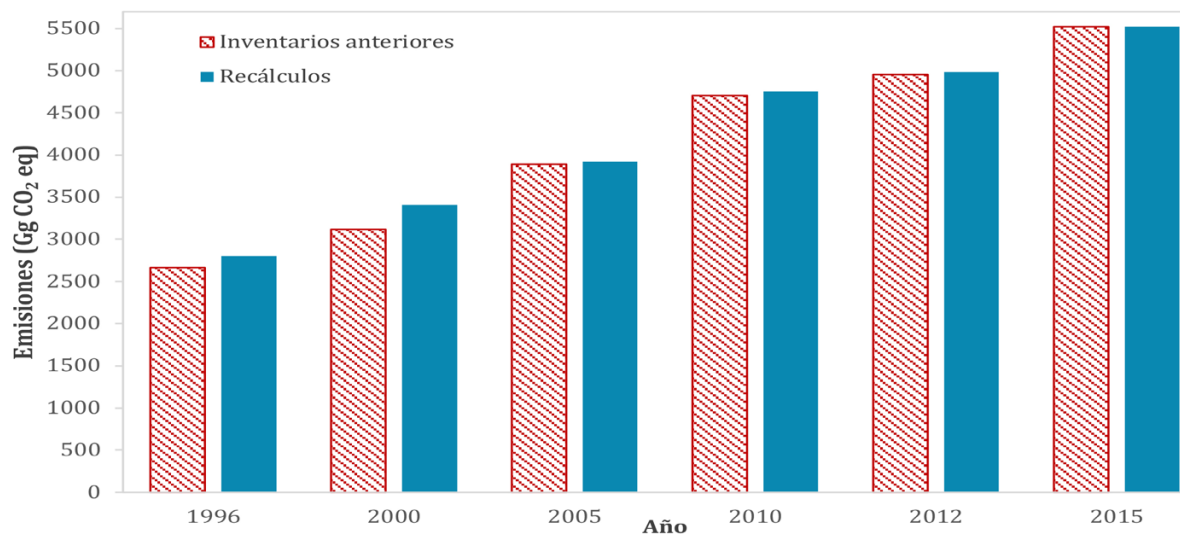


Figura 3.35 Recálculos de las emisiones atribuidas al transporte (1.A.3).

Cuadro 3.43 Metodologías de estimación de las emisiones de transporte (1.A.3) utilizadas en inventarios anteriores.

Año de inventario	Metodología utilizada	Diferencias con recálculo
1990	IPCC/OECD (1994)	No existía el nivel de desagregación actual. Cambio en método y DA.
1996	IPCC/OECD (1997)	Cambios en método y DA. Se recalculó.
2000	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Cambio en método y DA. Se recalculó.
2005	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Cambio en método y DA. Se recalculó.
2010	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó
2012	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó.
2015	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó.

de los cambios en este inventario que provocó variación en las emisiones fue el cambio en el consumo de gasolina de avión en aviación de cabotaje.

3.2.6.6. PLAN DE MEJORA

Está en proceso una evaluación de la flota vehicular del país y los parámetros asociados requeridos para estimar emisiones utilizando recorridos especialmente para metano y óxido nitroso. En el próximo inventario se reportará el avance en este tema.

Se planea una revisión de los datos de actividad para el 2000 debido a la reducción en el consumo que se reporta y encontrar las razones de que ocurriera eso. Además, se explorará la posibilidad de asignar los consumos por tipo de vehículo para el período 1990-2004.

3.2.7. Otros sectores (1.A.4)

3.2.7.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En esta categoría se contabilizan las emisiones de otros sectores en la que se da la combustión de combustibles de manera estacionaria. Estos otros sectores se encuentran descritos en el cuadro 3.44 de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*.

Para el año 2017, las emisiones totales de esta categoría fueron de 518,9 Gg de CO₂ equivalente con una división relativa por subcategoría como la mostrada en la Figura 3.36.

Las emisiones han crecido un 4,3 % en el último año, un 12,9 % desde el último inventario reportado (2015) y un 75,8 % desde 1990, lo que la hace la categoría con menor crecimiento histórico. El detalle de las emisiones para los años anteriores de inventario y los últimos 6 años se muestra en el cuadro 3.45, mientras que el histórico se muestra en la Figura 3.36 por subcategoría.

El máximo histórico de esta categoría se muestra en el año 2003 con 535,9 Gg CO₂ eq, las variaciones se deben a comportamientos en los tres subsectores que conforman esta categoría, especialmente, el aumento en la actividad comercial y servicios en el período 1996-2010 causante principal de la forma de “ola” que se muestra en la Figura 3.37.

Cuadro 3.44. Subcategorías de fuente de otros sectores (1.A.4) estimadas en este inventario

Categoría de fuente de GEI	Explicación
1.A.4a Comercial/Institucional/Servicios	Emisiones de la quema de combustibles en edificios comerciales e institucionales
1.A.4b Residencial	Todas las emisiones por la quema de combustibles en hogares.
1.A.4c Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías	Emisiones de la quema de combustibles utilizados en agricultura, silvicultura, pesca e industrias pesqueras, tales como piscifactorías.

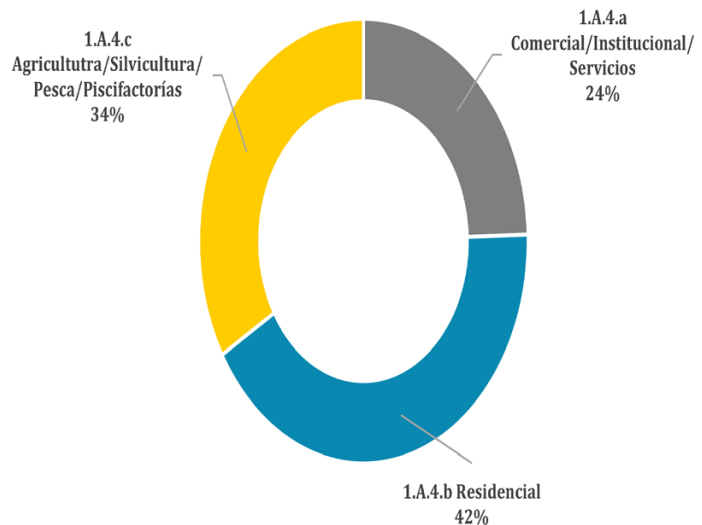


Figura 3.36 Distribución relativa de las emisiones de otros sectores (1.A.4) para el 2017.

Cuadro 3.45. Emisiones de Otros sectores (1.A.4) por subcategoría para el 2017

Subcategoría de fuente de GEI	Emisiones (Gg de CO ₂ eq) excluye CO ₂ biogénico.										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.4.a Comercial/ Institucional/Servicios	86,3	130,0	193,0	140,6	129,2	98,8	99,1	101,3	106,8	114,5	127,3
1.A.4.b Residencial	119,8	123,0	171,0	211,1	201,7	189,0	193,46	197,40	203,27	217,25	217,4
1.A.4.c Agricultura/ Silvicultura/Pesca/ Piscifactorías	89,1	118,3	137,3	156,4	120,2	144,9	146,05	147,02	149,34	165,84	174,1
Total 1.A.4	295,2	371,4	501,3	508,2	451,1	432,7	438,6	445,8	459,4	497,6	518,9

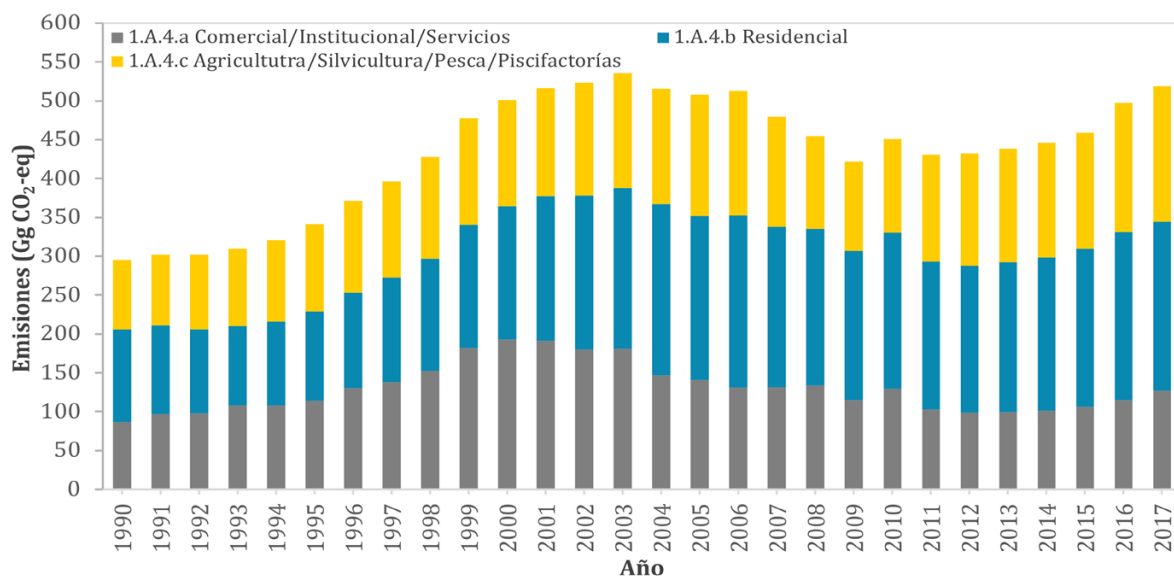


Figura 3.37 Histórico de las emisiones de otros sectores (1.A.4) por subcategoría.

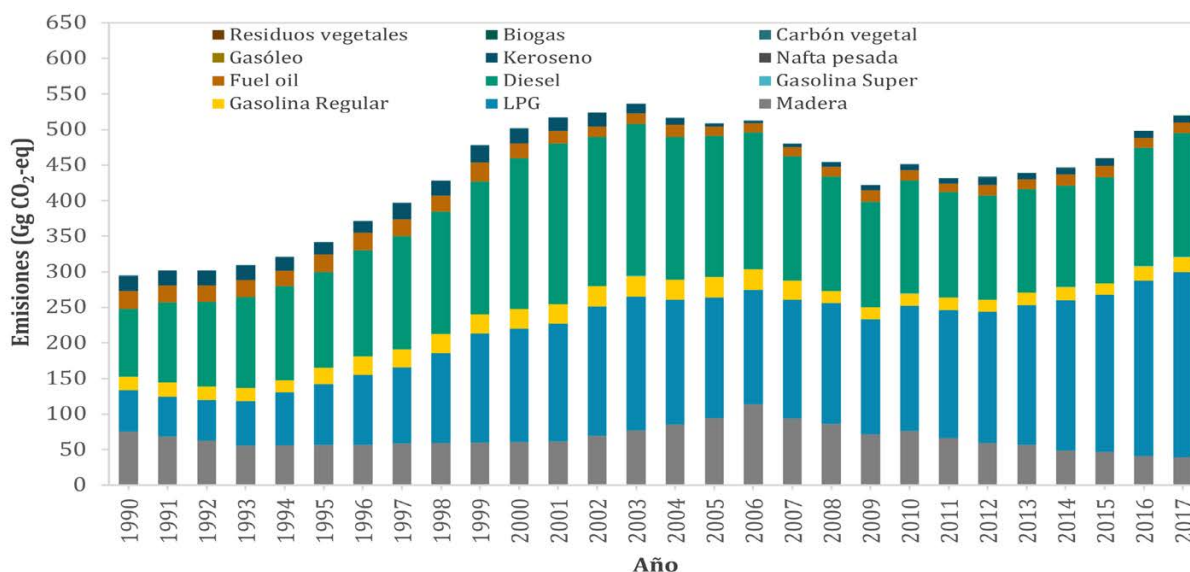


Figura 3.38 Histórico de las emisiones de otros sectores (1.A.4) por subcategoría.

Cuadro 3.46 Emisiones de otros sectores (1.A.4) por gas

EMISIONES DE GEI (Gg)	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	217,33	312,42	438,40	411,66	373,49	371,84	379,89	395,29	410,6	455,1	477,5
CH ₄	3,091	2,329	2,479	3,820	3,072	2,405	2,322	1,994	1,9246	1,6744	1,6295
N ₂ O	0,042	0,032	0,035	0,052	0,042	0,033	0,032	0,028	0,0269	0,0237	0,0232

En esta categoría se consumen una gran variedad de combustibles, las emisiones asociadas a esta categoría por tipo de combustible se muestran en la Figura 3.38, en donde se observa una importante cantidad de emisiones debidas al Diesel y al LPG.

Por tipo de gas emitido, como es esperable predomina el CO₂, los datos se encuentran tabulados en el cuadro 46. La información introductoria de estimación de emisiones de esta categoría se encuentra en el cuadro 3.47.

3.2.7.2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada es igual a la mostrada en la sección 3.2.4.1.2.

Factor de emisión

Para estimar las emisiones de CO₂ por el consumo de LPG, Diesel y gasolina se utilizó el factor de emisión indicado en el cuadro 3.5, mientras que para todos los otros combustibles se utilizaron los factores del cuadro 3.4. Los factores de emisión para el CH₄ y N₂O se encuentran tabulados en el cuadro 3.48.

Dato de actividad

Los datos de actividad para los años de inventario y los últimos 6 años se presentan en el cuadro 3.49, para los otros años los datos de actividad se encuentran en el Anexo B (Cuadro B.1.4). Los mismos fueron obtenidos de los balances nacionales de energía de la SEPSE.

Cuadro 3.47 Información introductoria para la categoría 1.A.4.

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 2	EN	D/CS
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

Cuadro 3.48 Factores de emisión de CH₄ y N₂O de Nivel 1 para otros sectores (1.A.4)

Combustible	Factor de emisión CH ₄ (kg gas/TJ combustible)	Factor de emisión N ₂ O (kg gas/TJ combustible)
1.A.4.a Comercial/Institucional/Servicios		
Carbón vegetal	200	1
Madera	300	4
LPG	5	0,1
Gasolina	10	0,6
Keroseno	10	0,6
Diesel	10	0,6
Fuel oil	10	0,6
Gasóleo	10	0,6
1.A.4.b Residencial		
Madera	300	4
Carbón Vegetal	200	1
Biogas	5	0,1
LPG	5	0,1
Gasolina	10	0,6
Keroseno	10	0,6
Diesel	10	0,6
1.A.4.c Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías		
Gasolina	10	0,6
Keroseno	10	0,6
Diesel	10	0,6
Fuel oil	10	0,6

Cuadro 3.49 Consumo de combustible de otros sectores (1.A.4)

Combustible\ Año	Consumo de combustible (TJ)										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.4.a Comercial/Institucional/Servicios											
Carbón vegetal	10,0	4,0	5,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Madera	177,5	104,0	187,4	698,0	895,7	969,3	998,8	1043,4	1081,9	1126,0	1172,2
LPG	328,6	588,1	871,9	797,0	810,3	836,6	871,0	919,9	948,8	1030,6	1216,8
Gasolina	30,0	18,0	22,0	24,7	30,0	5,7	2,6	1,1	1,2	3,5	6,8
Keroseno	186,7	146,0	181,9	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Diesel	396,0	839,0	1430,0	954,7	735,6	307,5	298,0	251,1	302,6	357,1	349,3
Fuel oil	244,0	227,0	195,0	155,4	183,3	196,0	181,5	212,1	205,0	179,2	192,9
1.A.4.b Residencial											
Madera	9836,8	7488,3	7885,1	11854,1	9181,4	6889,2	6581,8	5431,4	5151,2	4266,0	4061,5
Carbón Vegetal	290,0	68,6	30,4	40,1	41,8	35,6	38,3	47,0	56,8	44,6	46,3
Biogas	NO	NO	NO	NO	NO	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
LPG	584,4	960,6	1649,2	1870,1	1975,7	2082,5	2222,3	2421,0	2538,2	2870,7	2899,5
Gasolina	7,0	6,0	4,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	95,4	70,0	93,4	44,9	100,2	71,1	42,1	42,2	49,5	44,8	43,4
1.A.4.c Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías											
Gasolina	236,0	337,0	360,0	394,2	223,8	236,0	252,3	261,4	224,8	285,7	290,2
Keroseno	6,0	5,0	6,7	2,3	NO	70,6	73,1	74,5	86,6	82,5	78,9
Diesel	881,3	1174,6	1419,8	1709,9	1390,7	1653,4	1651,6	1654,6	1708,6	1876,5	1986,7
Fuel oil	82,0	87,0	74,0	14,6	6,7	NO	NO	NO	NO	NO	NO

3.2.7.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia

Se utilizaron los mismos factores de emisión y la misma fuente de datos de actividad para todos los años de la serie 1990-2017.

Incertidumbre

La incertidumbre se estimó como se indica en la sección 3.2.4.1.3, con los valores del cuadro 3.50

La simulación de Monte Carlo para esta categoría indica que el valor más probable para las emisiones de esta categoría es de 523,22 Gg de CO₂ eq y que con un 95 % de confianza se

Cuadro 3.50 Incertidumbre por propagación del error para otros sectores (1.A.4)

Combustible	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
1.A.4.a Comercial/Institucional/Servicios				
Carbón vegetal	CO ₂	2,0	17,86	17,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Madera	CO ₂	2,0	17,86	17,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
LPG	CO ₂	2,0	3,96	4,44
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02

Combustible	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
Keroseno	CO ₂	2,0	2,50	3,20
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Diesel	CO ₂	2,0	2,02	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasóleo	CO ₂	2,0	2,02	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Fuel oil	CO ₂	2,0	2,45	3,17
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
1.A.4.b Residencial				
Madera	CO ₂	2,0	17,86	17,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Carbón Vegetal	CO ₂	2,0	17,86	17,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Biogás	CO ₂	2,0	20,88	20,97
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
LPG	CO ₂	2,0	3,96	4,44
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Gasolina	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Keroseno	CO ₂	2,0	2,50	3,20
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Diesel	CO ₂	2,0	2,02	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
1.A.4.c Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías				
Gasolina	CO ₂	2,0	5,34	5,71
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Keroseno	CO ₂	2,0	2,5	3,20
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Diesel	CO ₂	2,0	2,02	2,85
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02
Fuel oil	CO ₂	2,0	2,45	3,17
	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	N ₂ O	2,0	100,0	100,02

puede asegurar que se encuentran entre 491,3 y 567,3 Gg de CO₂ eq, tal como lo muestra la Figura 3.39.

3.2.7.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Las mismas descritas en la sección 3.2.4.1.4.

3.2.7.5. RECÁLCULOS

Para 1990 las emisiones no se habían reportado anteriormente de manera desagregada, mientras que para los inventarios de 1996, 2000, 2005, 2010, 2012 y 2015 los ajustes realizados se encuentran en el cuadro 3.51 y las emisiones reportadas y recalculadas en la Figura 3.40.

Para los años 2005 y 2015 no hay diferencias significativas en los recálculos, para el año 1996 y 2000 se tiene una diferencia importante debido a que los datos de actividad para esos años fueron actualizados y tuvieron cambios en varios combustibles. Para el 2000, se reportó un cambio en el consumo de diésel en Agricultura (1.A.4c), pasando de 4597 TJ usados en el inventario anterior a 1419, 8 TJ en este inventario. Este nuevo valor fue tomado de la Memoria Estadística de la DSE de 2008 y validada por SEPSE para este inventario. Para el caso de 2010 y 2012, las diferencias en las emisiones se deben a cambios en datos de actividad por la revisión de los balances de energía del período 2005-2017 por parte de SEPSE.

3.2.7.6. PLAN DE MEJORA

Igual que 3.2.5.6.

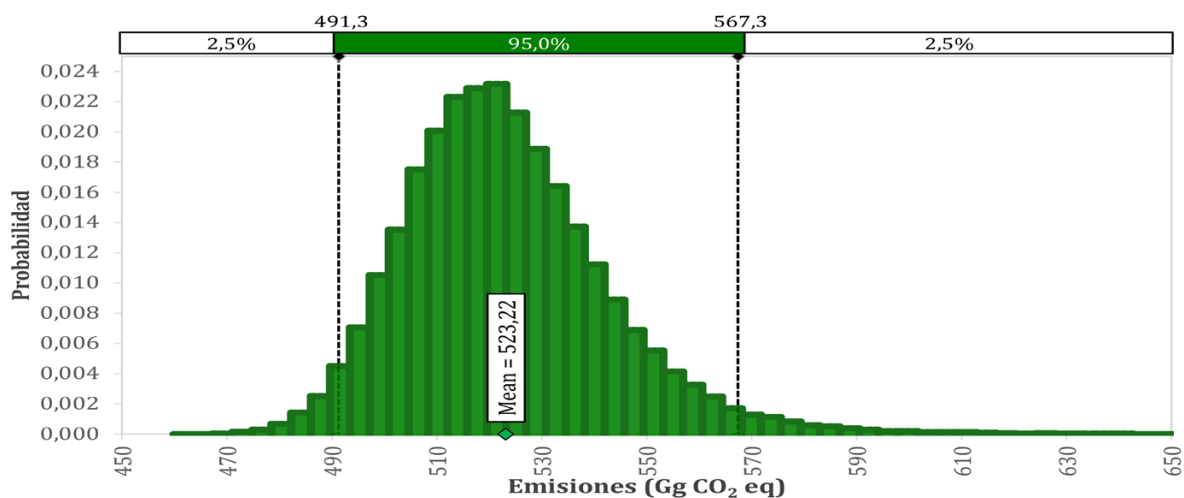


Figura 3.39 Simulación de Monte Carlo para otros sectores (1.A.4).

Cuadro 3.51 Metodologías de estimación de emisiones de otros sectores (1.A.4) de inventarios anteriores

Año de inventario	Metodología utilizada	Diferencias con recálculo
1990	IPCC/OECD (1994)	No existía el nivel de desagregación actual. Cambio en método y DA.
1996	IPCC/OECD (1997)	Cambios en método y DA Se recalculó.
2000	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Cambio en método y DA. Se recalculó.
2005	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Cambio en método y DA. Se recalculó.
2010	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó
2012	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó.
2015	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Mismo método, cambios en DA. Se recalculó.

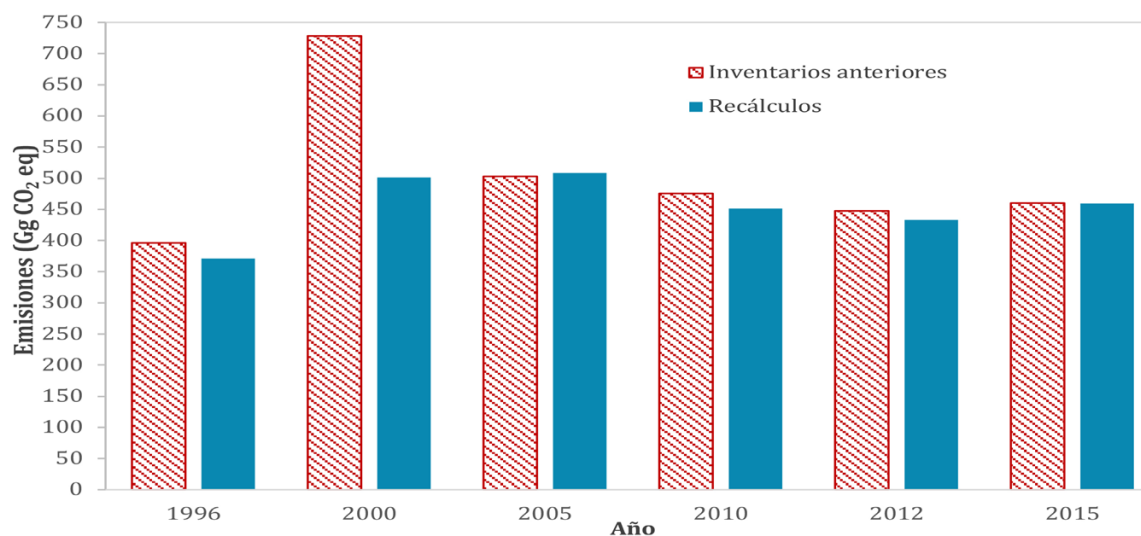


Figura 3.40 Recálculos de emisiones para otros sectores (1.A.4).

3.3. Emisiones fugitivas de combustibles (1.B)

3.3.1. Petróleo (1.B.2a)

3.3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

Las *Directrices del IPCC de 2006* indican que esta categoría comprende las emisiones fugitivas provenientes de todas las actividades de petróleo incluidas las emisiones por venteo, quema en antorcha y toda otra fuente fugitiva vinculada a la exploración, producción, transmisión, concentración y refinación de petróleo crudo y la distribución de productos de petróleo crudo. En Costa Rica no existe la exploración de petróleo, ni su producción por lo tanto las etapas que se incluyen en esta categoría son la transmisión de petróleo en tuberías (1.B.2a iii) y las emisiones durante la refinación de los productos (1.B.2a iv)

para los años en los que se importó y refinó petróleo, tal como se muestra en la Figura 3.41. La distribución de productos refinados no se incluyó debido a que la metodología sólo permite estimar compuestos volátiles diferentes del carbono, los cuales están fuera del alcance de este informe. El cuadro 3.52 describe las fuentes estimadas en este apartado.

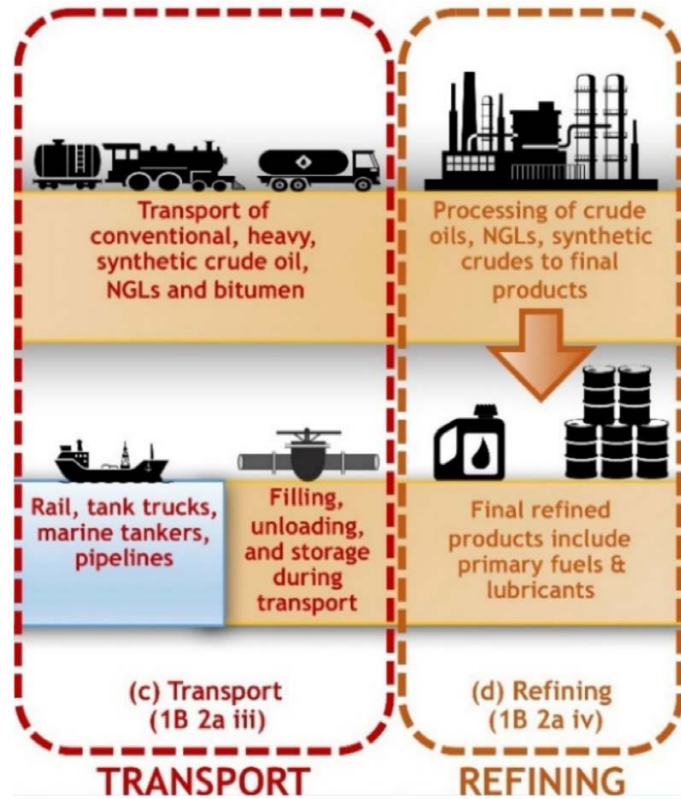


Figura 3.41 Fuentes de emisiones fugitivas contabilizadas en el país
Fuente: IPCC, 2019.

Cuadro 3.52 Subcategorías de fuente de emisiones fugitivas del petróleo (1.B.2a) estimadas en este inventario

Categoría de fuente de GEI	Explicación
1.B.2.a.iii Transporte de petróleo	Emisiones fugitivas vinculadas al transporte de crudo para su comercialización para refinadores y refinerías. Los sistemas de transporte pueden abarcar oleoductos, buques petroleros, camiones cisterna y vagones cisterna. Las pérdidas por evaporación en las actividades de almacenamiento, llenado y descarga y los escapes fugitivos de los equipos son las fuentes primarias de estas emisiones.
1.B.2.a.iv Refinación de petróleo	Emisiones fugitivas en refinerías de petróleo. Las refinerías procesan petróleo crudo, gases naturales líquidos y petróleo crudo sintético, para producir productos finales refinados.

Para esta categoría únicamente se contabilizaron las emisiones en el período 1990-2011, ya que del 2012 al 2017 no se importó petróleo ni se refinó en el país. Los datos de esas emisiones se

presentan en el cuadro 3.53 para los años de inventario anteriores. En el caso de toda la serie, las emisiones para la serie completa se muestran en la Figura 3.42. De 1998 al 2000 hubo una reducción en las emisiones debido a cambios en la operación de la refinera que hicieron que en esos años prácticamente no se refinara.

Cuadro 3.53 Emisiones fugitivas debidas al petróleo (1.B.2a)

SUBCATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	Emisiones (Gg CO ₂ eq) excluye emisiones biogénicas										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.B.2aiii Transporte de petróleo	0,055	0,082	0,006	0,071	0,066	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.B.2aiv Refinación de petróleo	3,140	4,668	0,347	4,035	3,781	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.B.2a Petróleo	3,196	4,751	0,353	4,106	3,847	NO	NO	NO	NO	NO	NO

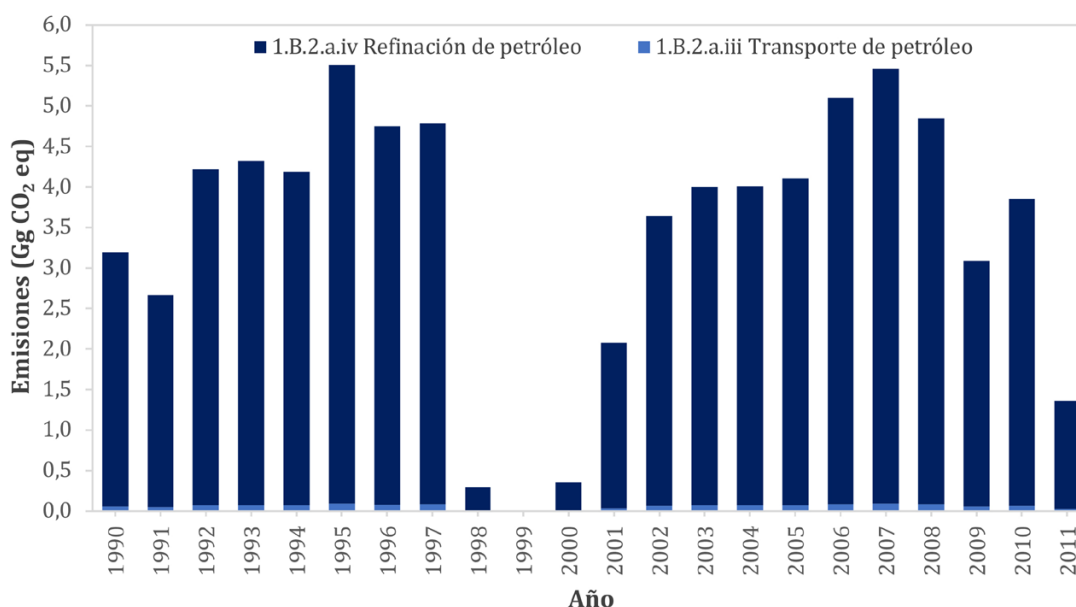


Figura 3.42 Histórico de emisiones fugitivas del petróleo (1.B.2a).

Cuadro 3.54 Emisiones fugitivas debidas al petróleo (1.B.2a)

Gas	Emisiones (Gg) excluye emisiones biogénicas										
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	2,835	4,215	0,314	3,643	3,414	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CH ₄	0,017	0,026	0,002	0,022	0,021	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Es importante indicar que las emisiones fugitivas se dan tanto de CO₂ como de CH₄ en las refineras por lo que en el cuadro 3.54 se muestran las emisiones por tipo de gas emitido.

Cuadro 3.55. Información introductoria para la categoría 1.B.2a

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1	EN	D
CH ₄	Nivel 1	EN	D

3.3.1.2. METODOLOGÍA

Esta categoría fue ampliamente mejorada en el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, aunque el método y algunos de los factores son iguales, se siguió lo dispuesto en el refinamiento. Se aplicó un Nivel 1 para ambos gases, el modelo es el que se muestra en la ecuación 3.3.

$$E_{gas} = A * FE_{gas} \quad (3.3)$$

Donde:

E = emisiones de un gas de efecto invernadero (ton GEI).

A = valor de la actividad (unidad de actividad)

FE= factor de emisión de GEI dado por tipo de combustible (ton gas/unidad de actividad).

gas= gas GEI.

Factor de emisión

Se utilizaron los factores por defecto del Refinamiento de 2019 de la *Directrices del IPCC de 2006* e indicados en el cuadro 3.56.

Dato de actividad

Los datos de actividad utilizados fueron las importaciones anuales de petróleo indicadas en los balances nacionales de energía y transformadas a volumen utilizando la equivalencia 36,3 TJ/1000 m³ utilizada también por SEPSE. Para los años de inventario, los datos se muestran en el cuadro 3.57, mientras que para el resto de los años se encuentran en el Anexo B (Cuadro B.1.5).

3.3.1.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia

Para todos los años de la serie se aplicó el mismo método, se utilizó el mismo dato de actividad y fuente y el mismo factor de emisión.

Incertidumbre

La información sobre la incertidumbre de los datos de actividad y factores de emisión para esta categoría se encuentran tabulados en el cuadro 3.58.

Debido a que la simulación de Monte Carlo sólo se hizo para el 2017, en este caso no se determinó.

Cuadro 3.56 Factores de emisión de CH₄ y CO₂ de Nivel 1 para emisiones fugitivas por petróleo (1.B.2a)

Fuente	Factor de emisión CH ₄ (ton gas/1000 m ³ de petróleo)	Factor de emisión CO ₂ (ton gas/1000 m ³ de petróleo)
1.B.2.a.iii Transporte de petróleo en tuberías	0,0054	0,00049
1.B.2.a.iv Refinación de petróleo	0,03	5,85

Cuadro 3.57 Datos de actividad para la categoría de emisiones fugitivas de petróleo (1.B.2a)

Importación de petróleo (TJ)	1990	1996	2000	2005	2010	2011
	17592,0	26152,0	1946,0	22603,8	21180,7	7464,6

Cuadro 3.58 Incertidumbre por propagación del error para emisiones fugitivas de petróleo (1.B.2a)

Fuente	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
1.B.2.a.iii Transporte de petróleo en tuberías	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	CO ₂	2,0	100,0	100,02
1.B.2.a.iv Refinación de petróleo	CH ₄	2,0	100,0	100,02
	CO ₂	2,0	100,0	100,02

3.3.1.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Las mismas descritas en la sección 3.2.4.1.4.

3.3.1.5. RECÁLCULOS

Se recalcaron las emisiones de todos los inventarios anteriores en donde ocurrió esta actividad, las metodologías utilizadas en cada inventario anterior se muestran en el cuadro 3.59.

Cuadro 3.59 Metodologías de estimación de emisiones de otros sectores (1.A.4) de inventarios anteriores

Año de inventario	Metodología utilizada	Diferencias con recálculo
1990	IPCC/OECD (1994)	Otro método, diferente FE y sólo se contabilizaba CH ₄ .
1996	IPCC/OECD (1997)	Otro método, diferente FE y sólo se contabilizaba CH ₄ .
2000	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Otro método, diferente FE y sólo se contabilizaba CH ₄ .
2005	Nivel 1-Directrices revisadas del IPCC de 1996	Diferente FE y sólo se contabilizaba CH ₄ .
2010	Nivel 1 y Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Otro método, diferente FE y sólo se contabilizaba CH ₄ . Sólo se contabilizó emisiones en tuberías.

El *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006* es muy claro en lo referente a esta categoría, los factores a utilizar y cuales gases se deben incluir. Si bien esta categoría no representó una porción importante

en los años en los que se contabilizó, se considera como mejora en la exhaustividad para este inventario. Para todos los años se estimaron las emisiones de CO₂ para refinamiento y para transporte en tuberías, obteniendo los datos recalculados. Como se observa en el cuadro 3.60, estos datos son mayores a los obtenidos en inventarios anteriores.

Cuadro 3.60 Emisiones de inventarios anteriores y recalculadas para la categoría Petróleo (1.B.2a)

Emisiones (Gg CO ₂ eq)	1990	1996	2000	2005	2010
Inventarios anteriores	0,327	0,420	0,063	0,840	0,063
Recálculo	3,196	4,751	0,353	4,106	3,847

3.3.1.6. PLAN DE MEJORA

No se tiene plan de mejora para esta categoría a corto plazo.

3.3.2. Otras emisiones provenientes de la producción de energía (1.B.3)

3.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En esta categoría se incluyen las emisiones fugitivas de la producción de energía geotérmica en Costa Rica. Existen varios gases que son arrastrados por el vapor utilizado en las plantas geotérmicas, el más abundante de estos gases es el CO₂ que puede fugarse durante la producción de energía, de ahí que se contabilice.

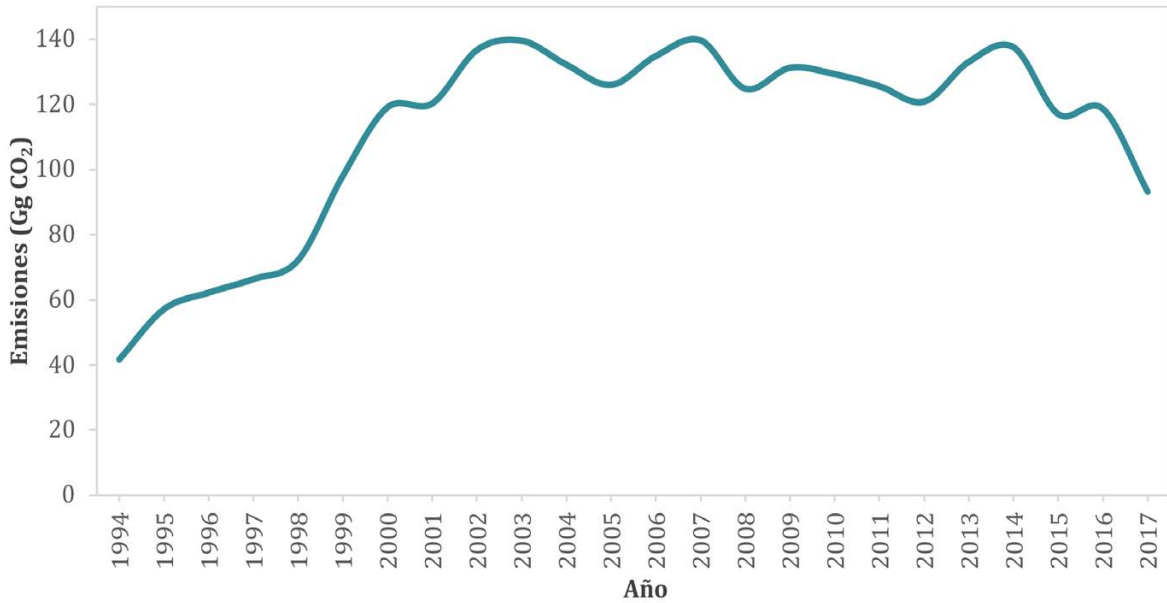


Figura 3.43 Histórico de emisiones de la producción de energía geotérmica (1.B.3)

En el país, la operación geotérmica inició en 1994, por lo que es desde ese año que se contabilizan las emisiones de esta categoría. Las emisiones para el 2017 fueron de 93,2 Gg CO₂; además, las emisiones de inventarios anteriores y para los últimos 6 años se muestran en el cuadro 3.61. Mientras que el histórico completo se muestra en la Figura 3.43.

En 2017 las emisiones fueron 21,4 % menores que el 2016 y 20,3 % menores que el último año de inventario reportado (2015). Con respecto a 1990, las emisiones de 2017 son 123,6 % mayores.

Cuadro 3.61 Emisiones fugitivas de CO₂ provenientes de la producción de energía geotérmica (1.B.3)

SUBCATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NO	62,2	119,1	126,0	129,3	120,9	133,1	137,6	117,0	118,6	93,2

El comportamiento de las emisiones está directamente ligado con el comportamiento de la producción de energía geotérmica por lo que las fluctuaciones en esas emisiones se atribuyen a menor o mayor producción.

El primer salto en las emisiones se da en 1995, esto se debió a que la planta Miravalles I había iniciado operaciones en marzo de 1994, por lo que no operó todo el año. La producción fue aumentando paulatinamente hasta 1998, cuando entra en operación la planta Miravalles II, de ahí el salto en emisiones en 1999. Otro importante aumento de emisiones se da en el año 2000, debido a la entrada en operación en marzo de ese año del proyecto geotérmico Miravalles III. En los años 2003 y 2011 entran en operación las plantas Miravalles V y Pailas I, aunque no se observa un aumento en emisiones debido a que utilizan la tecnología de ciclo binario la cual tiene un impacto mínimo en emisiones de GEI. En 2017, se dio una importante reducción de las emisiones atribuidas principalmente a

la baja producción geotérmica desde diciembre de 2016 a febrero de 2017 debido a afectaciones en las plantas por parte del huracán Otto en noviembre de 2016.

Aunque el cálculo se detalla más adelante, las generalidades de esta categoría se encuentran en el cuadro 3.62.

Cuadro 3.62 Información introductoria para la categoría 1.B.2a

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	NA	EN	D internacional

3.3.2.2. METODOLOGÍA

Ni las *Directrices del IPCC de 2006* ni el *Refinamiento de 2019 de la Directrices del IPCC de 2006* proveen metodología para esta categoría. Sin embargo, debido a la importante producción geotérmica en el país se incluyen en el Inventario Nacional de Emisiones.

El método está basado en la ecuación 3.4, que es similar a un Nivel 1 de IPCC; es decir, se utiliza un factor de emisión por defecto y un dato de actividad asociado.

$$E_{CO_2} = \sum_t P_t * FE_t \quad (3.4)$$

Donde:

E = emisiones de un gas de efecto invernadero (ton GEI).

P = Producción de energía geotérmica (GWh)

FE= factor de emisión de CO₂ dado por tecnología de producción geotérmica (ton CO₂/GWh).

t= tecnología de la planta.

Factor de emisión

En Costa Rica existen dos tecnologías de producción de energía geotérmica: el tipo flash, que es el que más emite, y el tipo binario, cuyas emisiones son mucho más bajas, incluso cero. En el cuadro 3.63 se muestran los factores de emisión por tipo de tecnología de producción, en el caso de las plantas flash se utilizó un factor de emisión publicado por Berthani y Thain (2002) el cual es el promedio de emisiones de CO₂ por GWh de 2001 de 85 plantas de 11 países que abarcaban cerca de un 85 % de la capacidad instalada en el mundo en 2001, un 50 % en el 2017, por lo que se consideran datos confiables y aplicables a nivel mundial, de acuerdo a Fridriksson (2017) este estudio no incluyó plantas binarias.

Para las plantas binarias, el valor mostrado en el cuadro 3.63 es el promedio de las mediciones realizadas por el ICE en las plantas con ciclo binario de 2013 a 2017, específicamente en la planta Pailas I ya que, en la otra planta de ciclo binario del país, Miravalles V, se han realizado mediciones, pero no hay emisiones de CO₂.

Cuadro 3.63 Factores de emisión de la categoría 1.B.3.

Tecnología de planta	Factor de emisión (ton CO ₂ /GWh)
Plantas de vapor flash	122,0
Plantas de ciclo binario	4,13

Dato de actividad

Los datos de actividad se obtuvieron de las estadísticas del CENCE para el período 2010-2017 y de estadísticas de energía del CEPAL de 1994 a 2009. El cuadro 3.64 presenta los datos para los

inventarios de años anteriores y para los últimos 6 años. Al no emitir, la producción de ciclo binario y el total, excluyen la producción de Miravalles V. Para los otros años los datos de producción se encuentran en el Anexo B, Cuadro B.1.6.

Cuadro 3.64 Datos de actividad para la categoría 1.B.3

Producción/Año	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Producción plantas de vapor flash (GWh)	NO	510,0	976,5	1032,9	1060,1	979,6	1079,5	1115,8	948,1	961,5	753,5
Producción plantas de ciclo binario (GWh)	NO	NO	NO	NO	NO	327,3	334,2	347,1	332,9	321,7	314,4
Producción total de energía geotérmica (GWh)	NO	510,0	976,5	1032,9	1060,1	1306,9	1413,7	1462,9	1280,9	1283,2	1067,8

3.3.2.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia

Para todos los años de la serie se aplicó el mismo método, se utilizó el mismo dato de actividad y fuente y el mismo factor de emisión.

Incertidumbre

La información sobre la incertidumbre de los datos de actividad y factores de emisión para esta categoría se encuentran tabulados en el cuadro 3.65. Como no se tiene más información sobre los factores de emisión se le asigna un 100 % de incertidumbre, mientras que al dato de actividad se le asigna un 2 % al igual que todos los datos de actividad de este sector.

Cuadro 3.65 Incertidumbre por propagación del error para emisiones de la producción geotérmica (1.B.3)

Fuente	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
Plantas de vapor flash	CO ₂	2	100	100,02
Plantas de ciclo binario	CO ₂	2	100	100,02

La simulación de Monte Carlo se muestra en la Figura 3.44, en donde la media de las emisiones para el 2017 es de 93,22 Gg de CO₂ con valores de incertidumbre a un 95 % de confianza de 1,3 Gg y 185,2 Gg de CO₂. Esto debido a que a los factores de emisión se les asignó una incertidumbre del 100%.

3.3.2.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Las mismas descritas en la sección 3.2.4.1.4.

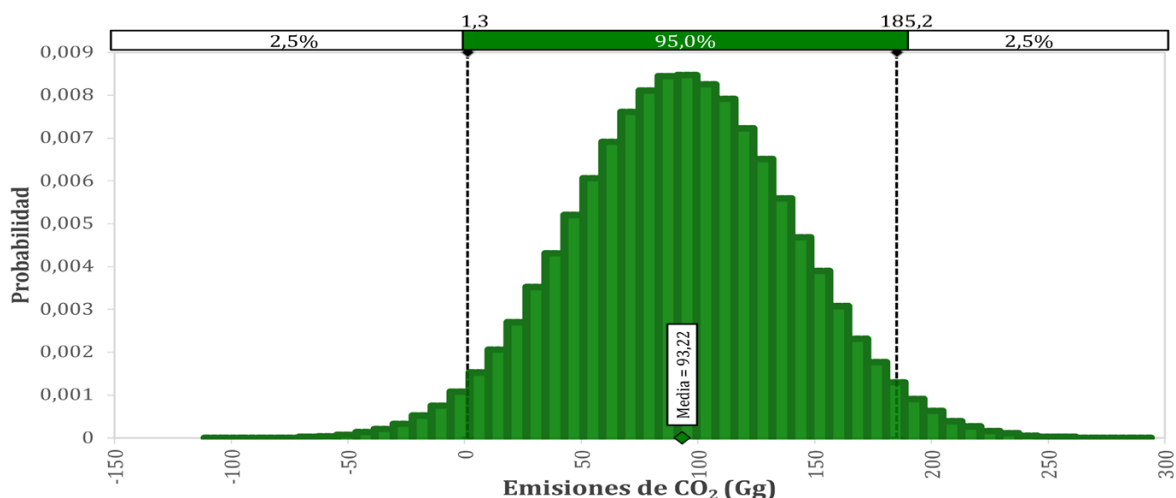


Figura 3.44 Simulación de Monte Carlo para la categoría 1.B.3

3.3.2.5. RECÁLCULOS

Como se observa en el cuadro 3.66, las emisiones debidas a la producción de energía geotérmica fueron incluidas por primera vez en el INGEI de Costa Rica del 2010. En ese inventario se estimaron las emisiones únicamente de plantas tipo flash utilizando un factor determinado por medio de mediciones directas del ICE de 167,0 ton CO₂/GWh. Para el año 2012 y 2015, se utilizaron los mismos datos de actividad que en este inventario; sin embargo, se notó que existe una gran variabilidad en las mediciones directas realizadas por el ICE en las plantas flash, por lo que se utilizó un factor de emisión de 90 ton CO₂/GWh para plantas tipo flash, valor determinado por la Geothermal Energy Association (GEA, 2007) para Estados Unidos. Además, se utilizó un valor de 4,6 ton CO₂/GWh para las plantas de tipo binario que fue el valor medido por el ICE para el 2013.

Cuadro 3.66 Metodologías de estimación de emisiones de la categoría 1.B.3 de inventarios anteriores

Año de inventario	Metodología utilizada	Diferencias con recálculo
1990-1996-2000-2005	NE	NE
2010	Igual que en sección 3.2.2	Diferente FE, sólo se estimaron flash
2012	Igual que en sección 3.2.2	Diferente FE
2015	Igual que en sección 3.2.2	Diferente FE

Para el ciclo de inventario incluido en este informe se sigue notando la variabilidad de las emisiones medidas de manera directa en las plantas flash por parte del ICE y, además, se determina que un valor de un estudio para Estados Unidos como el de la GEA no necesariamente es aplicable a Costa Rica. Por lo que se realizó una investigación bibliográfica dando con el valor de 122,0 ton CO₂/GWh de Berthani y Thain (2002) aplicado a todos los años de este inventario. Para el caso de las plantas de generación con ciclo binario se utilizó 4,13 ton CO₂/GWh, el cual, como ya se indicó, es un promedio de las mediciones realizadas por el ICE en esas plantas en las cuales la variabilidad es mucho menor.

Los datos de emisiones de inventarios anteriores y recalculados se muestran en la Figura 3.45.

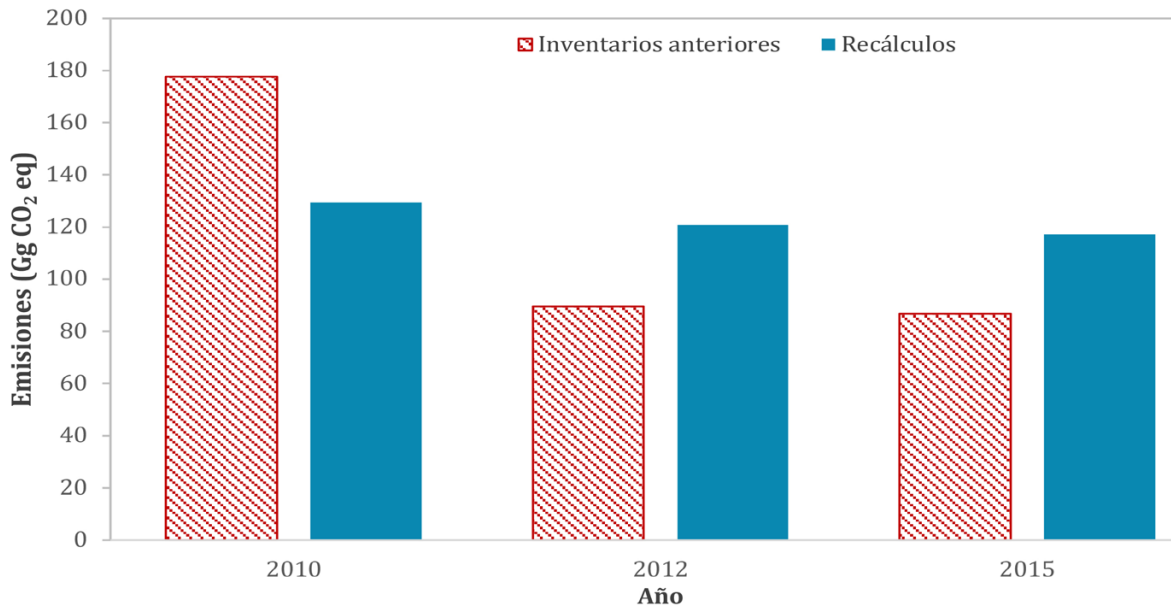


Figura 3.45 Recálculos de la categoría 1.B.3.

3.3.2.6. PLAN DE MEJORA

No se tiene un plan de mejora en el corto plazo para esta categoría; aunque, debido a que el IPCC no proporciona metodología de cálculo para esta categoría se considerará siempre cualquier avance en este tema, especialmente en cuanto a la incertidumbre.

3.4. Generalidades del sector

3.4.1. Emisiones de CO₂ biogénico

Aunque las emisiones de CO₂ debidas a la quema de biomasa o biocombustibles no se contabiliza en el total nacional debido a que se considera que ese CO₂ fue absorbido durante la vida de la planta, estas emisiones se deben reportar para verificación cruzada con otros sectores. En el cuadro 3.67 se muestran las emisiones de CO₂ biogénico para los años anteriores de inventario y de los últimos 6 años; además, los datos para toda la serie se pueden consultar en el Anexo C (Cuadro C.1.8).

Como se mencionó anteriormente en este informe, los datos de consumo de madera en TJ en la categoría 1.A.1c fueron corregidos para el período 2005-2017 (mayor detalle sobre esto se brinda en el Anexo H). Una vez corregidos, se tienen los datos de actividad para las diferentes biomásas en línea con lo indicado por SEPSE y reportados de manera completa para toda la serie 1990-2017 en los cuadros del Anexo B como madera, residuos vegetales, biogás y etanol, estos datos de actividad fueron utilizados para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O utilizando los factores de emisión por defecto.

En el caso de CO₂, se detectó que para la madera el poder calórico neto utilizado por SEPSE es de 18,0 TJ/Gg de madera, el cual es 15,4 % mayor al valor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (15,6 TJ/Gg de madera) y 17,5 % mayor que el valor nacional determinado por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica (2020) indicado en el cuadro 3.5 (15,314 TJ/Gg

Cuadro 3.67 Emisiones de CO₂ por la quema de biomasa

Categoría de fuentes de GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.1. Industrias de la energía	93,9	53,4	67,1	70,2	137,8	170,3	170,9	164,32	175,0	172,3	168,60
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	1001,1	1367,6	1394,5	1514,9	2040,3	1859,6	2075,4	2152,7	2064,7	2082,0	2013,4
1.A.3. Transporte	NO	NO	NO	NO	5,2	0,1	NO	NO	NO	NO	NO
1.A.4. Otros sectores	863,9	637,6	673,2	1045,2	840,1	655,7	632,9	542,2	523,3	452,2	439,3
1.B.2. Petróleo y gas natural	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	1958,9	2058,5	2134,9	2630,3	3023,4	2685,8	2879,3	2859,3	2763,0	2706,5	2621,3

de madera), el cual fue utilizado para calcular el factor de emisión nacional utilizado en este inventario (97 449,29 kg CO₂/TJ de madera). Por lo anterior, para poder determinar las emisiones de CO₂ fue necesario estimar el consumo energético de la madera utilizando el poder calórico específico del país en lugar del utilizado por SEPSE. Estos datos se encuentran en el cuadro 3.68 y para toda la serie se encuentran en el cuadro B.1.7 del Anexo B; además, la metodología de esta estimación se encuentra en el Anexo J.

Otro elemento para considerar es que en los cuadros de datos de actividad para estimar el CH₄ y N₂O se incluyó dentro de residuos vegetales el bagazo, ya que los factores de emisión para esos

Cuadro 3.68 Datos de actividad para estimar el CO₂ biogénico

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.1. Industrias de la energía											
Residuos vegetales	NO	NO	NO	80,0	107,1	118,4	118,4	118,4	118,4	118,4	118,39
Bagazo	147,0	162,0	250,0	339,5	936,1	1196,5	1196,5	1128,9	1196,5	1196,5	1196,46
Biogas	NO	NO	NO	195,3	1,1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,43
Madera (Usada en 1.A.1c)	774,2	338,6	365,8	90,2	94,1	80,1	86,2	105,8	128,0	100,4	62,40
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción											
Residuos vegetales	1141,0	1708,5	2278,3	2416,2	4771,0	4846,6	4623,2	4732,3	4160,9	4179,4	3730,4
Bagazo	5352,4	7555,0	7388,4	8380,8	9836,3	8088,9	9864,9	10318,3	10072,4	10072,4	9359,2
Madera	2188,5	2521,8	2429,0	2241,1	3336,0	3661,3	3810,8	3906,5	3907,2	4065,7	4234,7
1.A.3. Transporte											
Bioetanol	NO	NO	NO	NO	73,6	2,0	NO	NO	NO	NO	NO
1.A.4. Otros sectores											
Madera	8520,0	6459,3	6867,9	10679,1	8573,3	6685,8	6449,4	5508,6	5303,1	4587,5	4452,7
Carbón vegetal	300,0	72,6	35,4	40,1	41,8	35,6	38,3	47,0	56,8	44,6	46,3
Biogas	NO	NO	NO	NO	NO	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

gases son los mismos, pero para la estimación de CO₂ biogénico la cantidad de bagazo se extrajo del total de residuos vegetales y se le aplicó el factor de emisión específico de país indicado en el cuadro 3.5 y explicado en el Anexo I. El consumo de bagazo también se encuentra en el cuadro 3.68 y en el cuadro B.1.7.

Cambios en los factores de emisión, en los balances de energía, ajustes y correcciones realizadas, explicadas anteriormente y en los Anexos H, I y J hicieron que se presentaran recálculos para las emisiones de CO₂ biogénicas para los años 2010, 2012 y 2015. Para el 2010 las emisiones pasaron de 3581,2 Gg de CO₂ eq a 3023,4 Gg de CO₂ eq. En el 2012 pasaron de 2812,2 Gg de CO₂ eq en el inventario presentado para ese año a 2685,8 Gg de CO₂ eq en este inventario. Para el 2015 pasaron de 2647,7 Gg de CO₂ eq en el inventario anterior a 2763,0 Gg de CO₂ eq en el recálculo de este inventario.

3.4.2. Incertidumbre del sector

Las incertidumbres para cada categoría estimadas con propagación del error en este informe son utilizadas para las emisiones totales del INGEI. Por el método 1, propagación del error, la incertidumbre estimada para el sector energía en 2017 fue de ±3,95 %

Se realizó una simulación de Monte Carlo para las emisiones totales del sector energía para CO₂, CH₄, N₂O y CO₂ eq. Los resultados se muestran en las figuras 3.46, 3.47, 3.48, 3.49 en donde se obtuvieron 7724,73 Gg de CO₂ y a un 95 % de confianza se encuentran entre 7569 y 7882 Gg de CO₂.

Para el metano, la estimación tiene un valor de 4, Gg con valores desde 2,87 Gg hasta 6,55 Gg a un 95 % de confianza.

En el caso de las emisiones totales de óxido nitroso, se estimaron mediante el método de Monte Carlo 0,518 Gg con valores que podrían estar, a 95 % de confianza, entre 0,368 Gg y 0,748 Gg.

Por último, se simularon también las emisiones del sector en dióxido de carbono equivalente total, resultando en 7975,05 Gg. Se puede asegurar con 95 % de confianza que se encuentran entre 7804 Gg y 8152 Gg. Como se observa en la Figura 3.49, las emisiones totales siguen una distribución normal cuya incertidumbre es cercana a ±2 %.

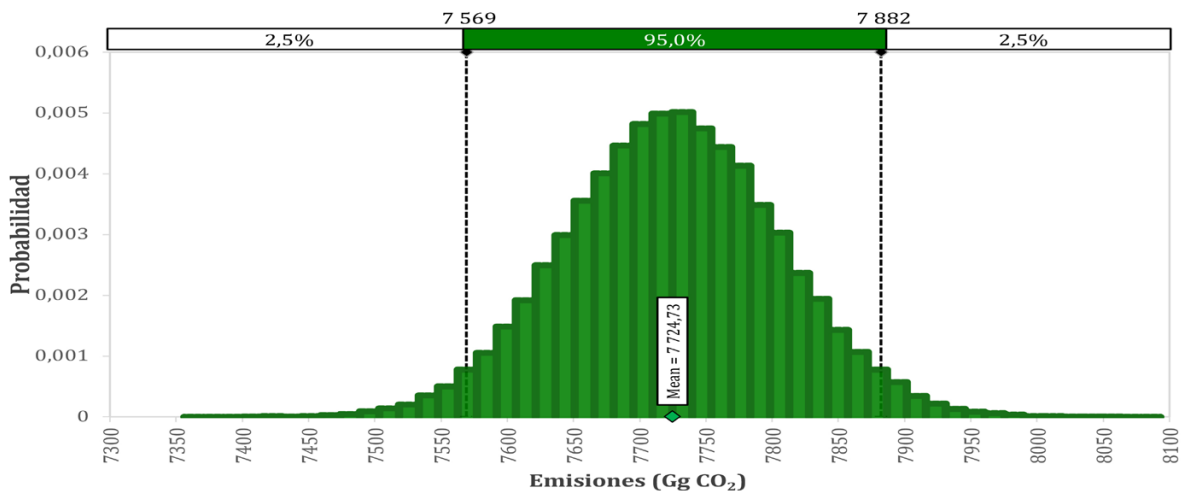


Figura 3.46 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CO₂ del sector energía,

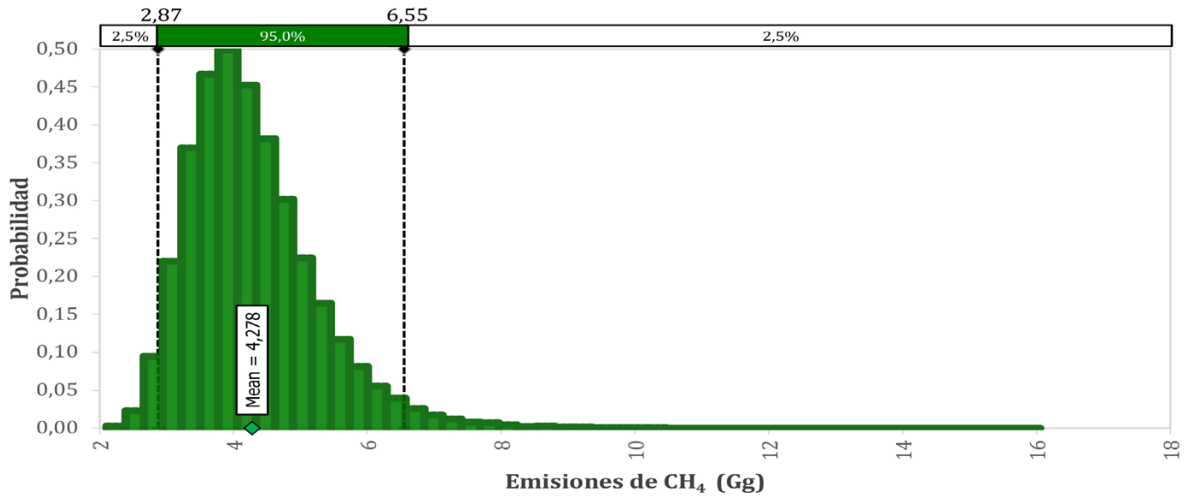


Figura 3.47 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ del sector energía.

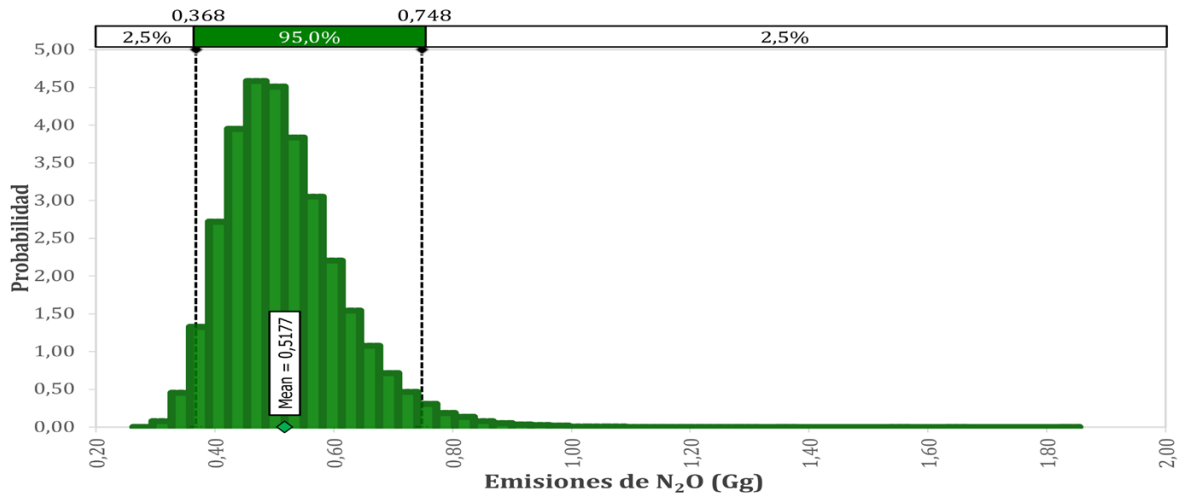


Figura 3.48 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de N₂O del sector energía.

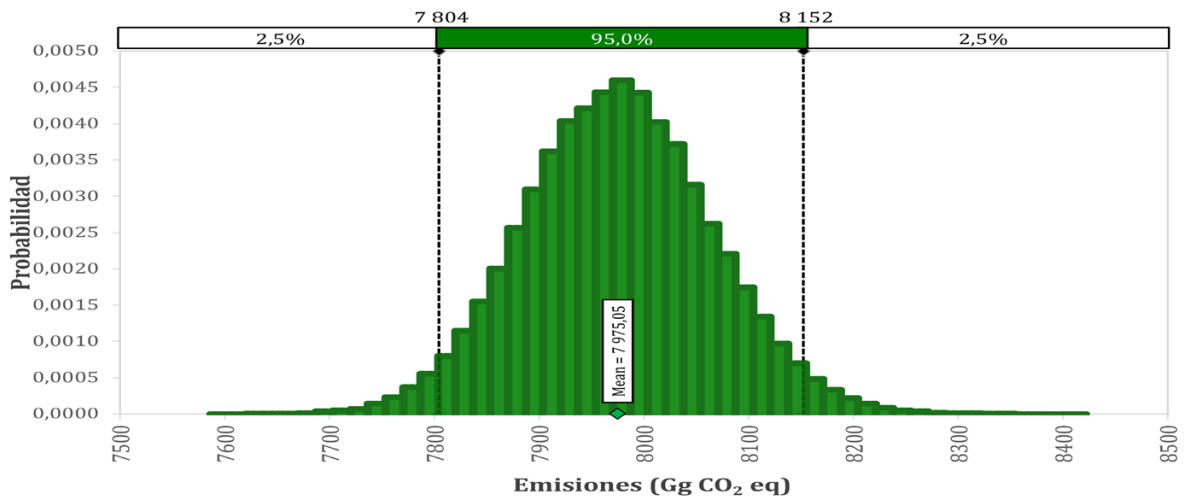


Figura 3.49 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CO₂ equivalente del sector energía.

3.4.3. Recálculos para el sector

En cada una de las categorías y subcategorías se han mostrado los recálculos realizados, así como los motivo y las diferencias. El impacto total de todos esos recálculos en el sector para inventarios anteriores se muestra en la Figura 3.5. Como se analizó anteriormente, estas diferencias se deben principalmente al recálculo de las emisiones de CO₂ en producción de energía geotérmica (1.B.3) y a cambios en los datos de actividad del período 1990-2004. El año 1990, no se presenta debido a que el enfoque utilizado era por consumo aparente. El año con mayor cambio relativo fue 1996 en donde las emisiones recalculadas (4533,4 Gg CO₂ eq) fueron 7,81 % mayores que las reportadas anteriormente (4179,1 Gg CO₂ eq), seguido el año 2005 con 4,34 %. El único año en donde los recálculos fueron a la baja es 2010, con un 0,62 %. Para el inventario de 2012 la diferencia es de 1,28 %. Como se ha indicado, todos los otros años son reportados por primera vez en este inventario.

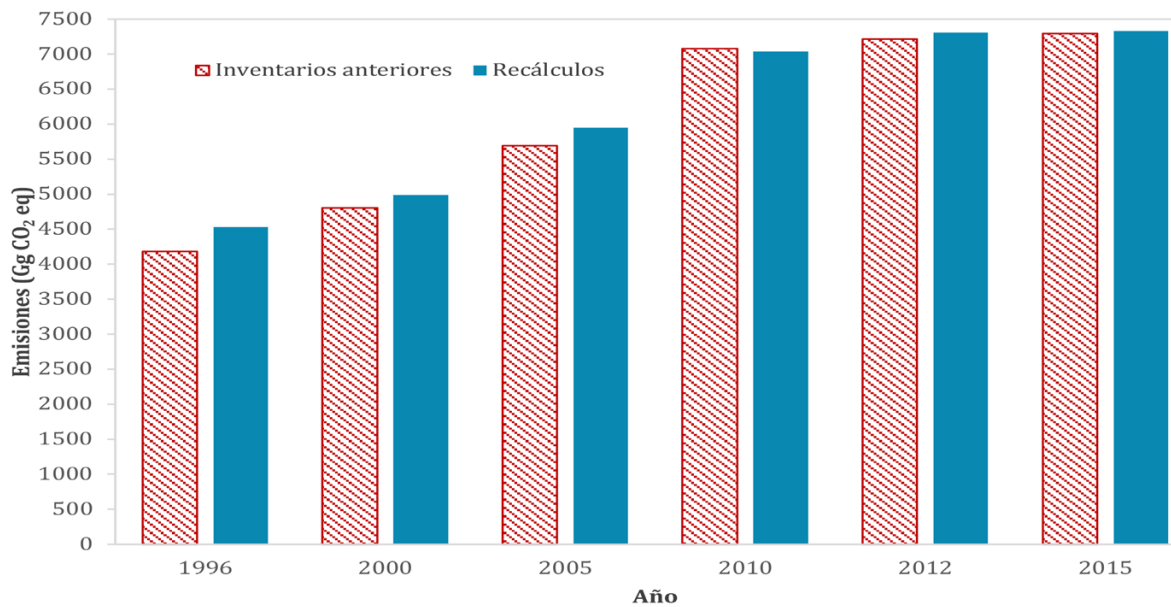


Figura 3.50 Recálculos para el sector energía.

Cuadro 3.69 Emisiones de gases precursores del sector energía 2017

Categoría de fuente	Emisiones (Gg)				
	NOx	CO	NM VOC	SOx	Carbono negro
1.A.1. Industrias de la energía	0,2	0,1	0,01	0,2	0,0064
1.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	7,0	14,7	6,1	4,2	0,822
1.A.3. Transporte	56,1	376,6	71,1	NE	0,625
1.A.4. Otros sectores	1,2	17,3	2,9	0,1	0,305
1.B.2. Petróleo y gas natural	NE	NE	NE	NE	NE
1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NE	NE	NE	NE	NE
Total	64,6	408,7	80,0	4,5	1,759

3.4.4. Plan de mejora para el sector

De manera general, la principal posible mejora identificada para aumentar la coherencia y consistencia del inventario es la revisión de los datos de actividad de 1990 a 2004.

Otras mejoras específicas se encuentran en cada categoría.

3.4.5. Emisiones de otros gases

En este informe también se reportan otros gases que se emiten por la quema de combustibles fósiles. La metodología seguida es la de *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*.

Para el 2017, los gases contabilizados se muestran en el cuadro 3.69.

4. SECTOR PROCESOS INDUSTRIALES Y USO DE PRODUCTOS

4.1. Panorama del sector

4.1.1. Introducción

En este sector se contabilizan las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera debidas a transformaciones químicas y físicas en el sector de procesos industriales y uso de productos (IPPU). Para las estimaciones se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006* para elaboración de inventarios nacionales de emisiones, específicamente el Volumen 3 IPPU y en los casos en que se requirió, se consultó el volumen 2 Energía. Cada categoría y subcategoría se describe individualmente en este documento, incluyendo: la descripción de la actividad, metodología, incertidumbre y consistencia temporal, control de calidad y verificación, recálculos y plan de mejora, obtención del dato de actividad y resultado de las emisiones por gas y como CO₂ equivalente utilizando los potenciales de calentamiento global del *Segundo Reporte de Evaluación del IPCC*.

Las categorías y subcategorías estimadas, así como los gases emitidos se muestran en el cuadro 4.1; se han identificado categorías no estimadas, pero estas serán abordadas más adelante.

Cuadro 4.1 Categorías estimadas en el sector procesos industriales y uso de productos

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	SF ₆	NF ₃
2.A. Industria de los Minerales							
2.A.1. Producción de cemento	X						
2.A.2. Producción de cal	X						
2.A.3. Producción de vidrio	X						
2.A.4. Otros usos de carbonatos 2.A.4b Otros usos de carbonatos de sodio	X						
2.B. Industria Química							
2.B.2. Producción de ácido nítrico			X				
2.B.5. Producción de carburo	X						

Cuadro 4.1 Continuación.

2.D. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes							
2.D.1. Uso de lubricantes	X						
2.D.2. Uso de ceras de parafina	X						
2.F. Emisiones de los sustitutos fluorados para las ODS							
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado				X			
2.F.3. Protección contra incendios				X			
2.F.4. Aerosoles				X			
2.F.6. Otras Aplicaciones: Transferencia de flúor al vidrio				X			
2.G. Manufactura y utilización de otros productos							
2.G.1. Equipos eléctricos						X	

En este sector, las emisiones están expresadas como CO₂ equivalente, para esto, se utilizaron los potenciales de calentamiento global del *Segundo Reporte de Evaluación del IPCC (SAR)*, presentados en el cuadro 4.2.

4.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector

Para el año 2017, las emisiones de este sector fueron 1394,7 Gg de CO₂ eq aumentando 5,8 % respecto al último inventario cuyo año base fue 2015. Además, las emisiones han incrementado en un 157,04 % desde 1990. En el cuadro 4.3 se muestra la evolución de las emisiones del sector por categorías para los años de inventario anteriores en el período 1990-2017, recalculados con las *Directrices IPCC 2006*. En la Figura 4.1 se observan las emisiones del sector desde 1990, el año que presenta un máximo en las emisiones del sector es el 2017 debido a que en ese año se da un aumento en las emisiones de la mayoría de las categorías que se detallan más adelante. Otro comportamiento peculiar es la reducción de las emisiones del sector entre 1996 y 1997, este cambio se debe a que se dejó de producir ácido nítrico en el país en 1996 (ver sección 4.3.1).

Otro elemento importante para destacar es que históricamente la industria de los minerales ha sido la que más ha emitido. Por ejemplo, contribuyó con el 94% de las emisiones del sector IPPU en 1997; sin embargo, el aumento en las emisiones de la categoría 2.F.1 ha hecho que esa proporción disminuya en los últimos años. Por ejemplo, a un 52,5 % en 2016 y a 53,2 % en el 2017, mientras que

Cuadro 4.2 Potenciales de calentamiento global (PCG) utilizados

Gas	PCG
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC-32	650
HFC-125	2800
HFC-134a	1300
HFC-143a	3800
HFC-152a	140
HFC-23	11700
SF ₆	23900

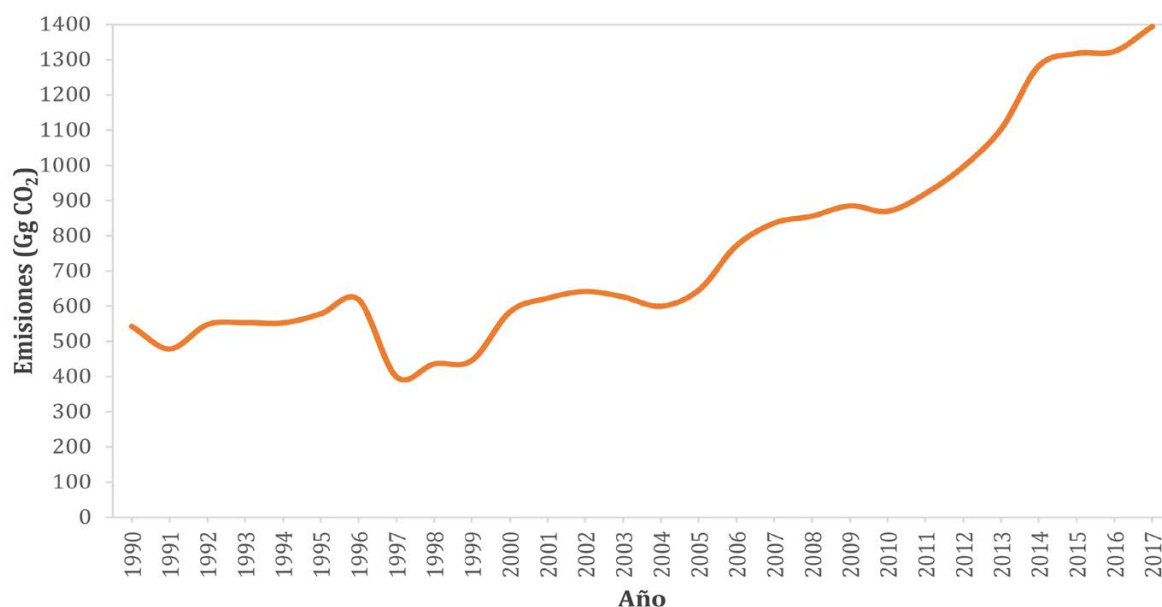


Figura 4.1 Tendencia de las emisiones del sector IPPU de Costa Rica.

las emisiones debidas al uso de HFCs, representaron 11 % en el 2000 y 45,6 % en 2017. Este comportamiento se detallará más adelante, aunque en la Figura 4.2 se muestra la distribución relativa de las emisiones por categoría para el 2017.

En cuanto a la tendencia, como se muestra en la Figura 4.3, la categoría con mayor crecimiento desde 1990 es la industria de los minerales con un 121 %, mientras que la industria química debido a que se dejó de producto

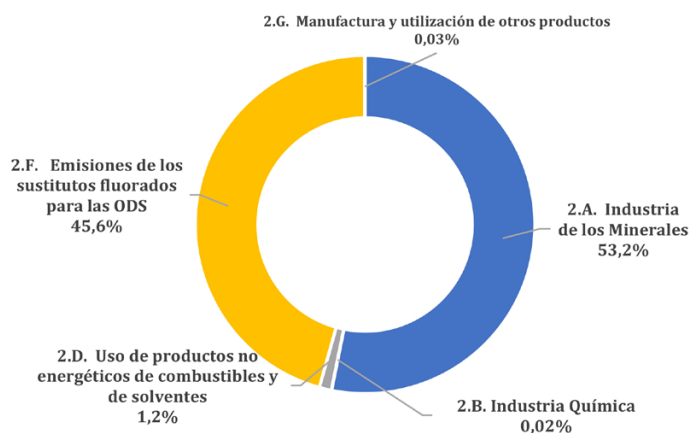


Figura 4.2 Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector IPPU en el 2017.

Cuadro 4.3 Emisiones del sector IPPU (en Gg de CO₂ eq) para inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2017
2.A. Industria de los Minerales	335,04	345,43	503,23	522,03	608,78	664,92	698,02	741,43
2.B. Industria Química	197,82	253,13	0,46	0,35	0,38	0,25	0,34	0,34
2.D. Uso de productos no energéticos de combustibles y solventes	9,12	10,66	14,59	14,65	14,42	13,99	15,46	16,12
2.F. Emisiones de los sustitutos fluorados para las SAO	NO	8,22	64,25	107,18	244,33	315,65	602,23	636,43
2.G. Manufactura y utilización de otros productos	0,63	0,87	1,25	1,50	1,74	1,75	1,94	0,39
Total sector IPPU	542,60	618,30	583,79	645,70	869,64	996,55	1317,98	1394,71

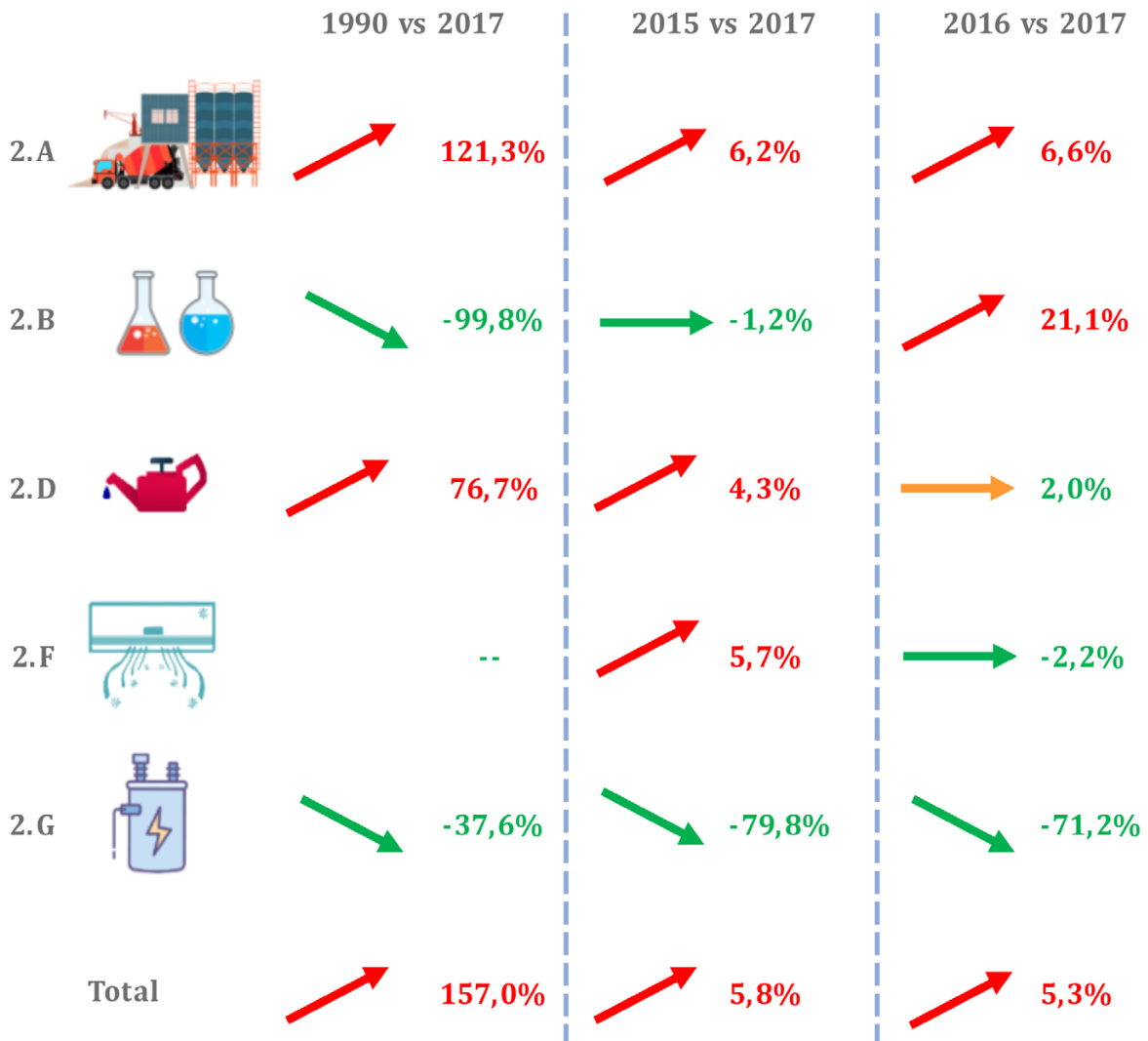


Figura 4.3 Tendencia de las emisiones del sector IPPU.

ácido nítrico es la que más bajó. Con respecto al último inventario (2015) el sector creció 5,9 % debido principalmente, al aumento de la categoría 2.A y de la categoría 2.F. Con respecto al año anterior las emisiones que más crecieron fueron las de la categoría 2.A con un 6,6 % lo que combinado con las otras categorías generó un aumento de 5,3 % en las emisiones del sector.

4.2. Industria de los minerales (2.A)

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, en esta categoría se estiman las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con los procesos que resultan del uso de materias primas carbonatadas en la producción y el uso de una variedad de productos minerales industriales. En especial se tratan las emisiones que resultan de la calcinación de materiales carbonatados cuyas reacciones químicas se presentan más adelante. Debido a la variedad de información dentro de esta categoría, todos los detalles serán indicados dentro de las diferentes secciones a continuación.

4.2.1. Producción de cemento (2.A.1)

125

4.2.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

Las emisiones en esta categoría se deben al proceso de calcinación que sufren los minerales como CaCO_3 y MgCO_3 en el proceso de fabricación de clinker, materia utilizada como base en la producción de cemento. Tal como se muestra en las ecuaciones 4.1 y 4.2, los carbonatos (CaCO_3 , MgCO_3), ante un alto suministro de calor, se descomponen en su respectivo óxido (CaO y MgO), los cuales son el mayor componente del Clinker, generando también durante el proceso dióxido de carbono (CO_2).



En el caso de Costa Rica, de los carbonatos, únicamente se utiliza el carbonato de calcio. Esta categoría ha sido identificada como fuente clave siguiendo tanto la evaluación de nivel como el análisis de tendencias en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI.

En el 2017, las emisiones en esta categoría fueron de 718,65 Gg de CO_2 , alcanzando un máximo histórico. En el cuadro 4.4 se muestran las emisiones para los años de inventarios anteriores, mientras que en la Figura 4.4 se muestra la variación de las emisiones para la serie completa desde 1990 hasta el 2017.

Cuadro 4.4 Emisiones de CO_2 en la producción de cemento (2.A.1)

Gas	Unidades	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO_2	Gg	325,64	334,15	486,12	497,84	585,84	610,47	635,97	665,93	660,41	675,19	674,65	718,65

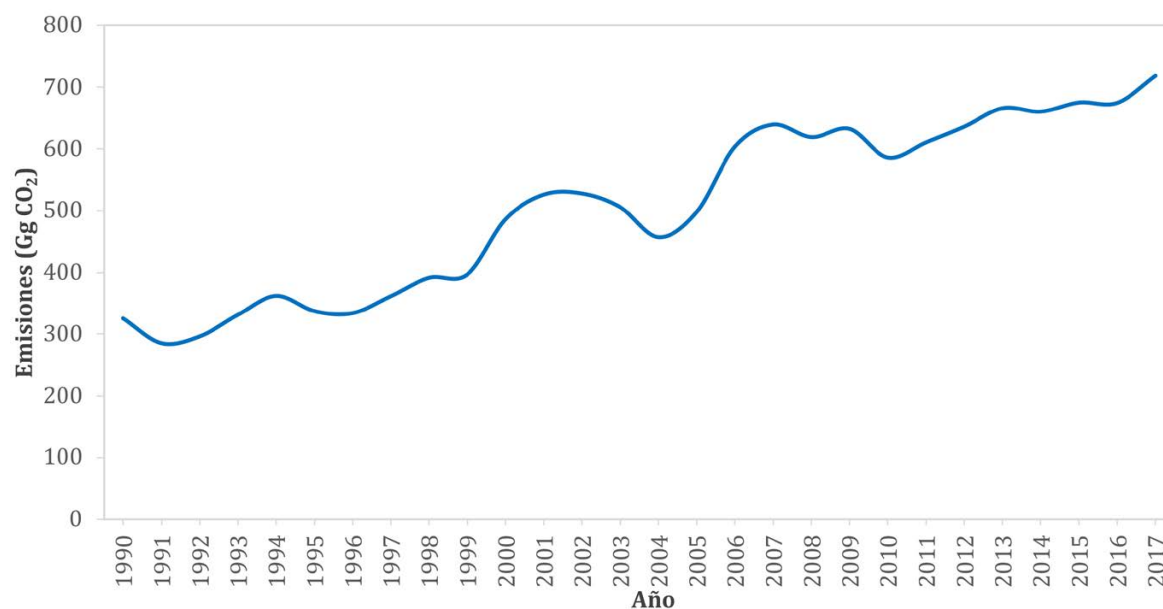


Figura 4.4 Emisiones de CO_2 en la producción de cemento para el período 1990-2017.

Las emisiones crecieron con respecto al año anterior (2016) un 6,5%, respecto al último año de inventario reportado (2015) hay un crecimiento del 6,4 % y el crecimiento total de las emisiones desde 1990 al 2015 ha sido de 120,7 %. Para el período 1990-1999, las variaciones en las emisiones se atribuyen al comportamiento normal del mercado, mientras que el aumento de casi 89 Gg CO₂ de 1999 al 2000 fue causado por un aumento en la producción en una de las plantas. La disminución de las emisiones en 2004 y 2005 se debió a la reducción en la producción nacional de cemento, esto atribuido al mercado y a la sustitución de un horno en una planta. Una vez puesto en funcionamiento el nuevo horno, se generó un salto importante en las emisiones de casi 107 Gg de CO₂ del 2005 al 2006. No se han detectado cambios importantes en el sector (cierre o apertura de líneas de producción en las plantas existentes o plantas nuevas) para el período comprendido entre 2006 y 2017, por lo que las variaciones en las emisiones se deben al comportamiento del mercado del cemento.

En el cuadro 4.5 se muestra la información básica para la estimación de esta categoría y que será ampliada a continuación.

Cuadro 4.5 Información introductoria para la categoría 2.A.1

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 2 / Nivel 3	EP	D

4.2.1.2. METODOLOGÍA

La estimación de las emisiones para una de las plantas en esta categoría se realizó siguiendo el método de Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006* utilizando la producción de clínker como dato de actividad. Específicamente, se determinaron las emisiones utilizando la ecuación 4.3.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_{Cl} * EF_{Cl} * CF_{ckd} \tag{4.3}$$

Donde:

M_{Cl} = Masa de clínker producido, toneladas.

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

CF_{ckd} = factor corrector de las emisiones para polvo de horno de clínker (ckd), adimensional.

Para la otra planta se realizó la estimación de las emisiones siguiendo el método de Nivel 3, el cual se basa en el ingreso al horno de materias primas carbonatadas tal como se muestra en la ecuación 4.4.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i(EF_i * M_i * F_i) - M_d * C_d * (1 - F_d) * EF_d + \sum_k(M_k * X_k * EF_k) \tag{4.4}$$

Donde:

EF_i = factor de emisión para el carbonato i, toneladas de CO₂/ toneladas de carbonato i

M_i = peso o masa del carbonato i consumido en el horno, toneladas

F_i = fracción de calcinación alcanzada para el carbonato i, fracción

M_d = peso o masa del CKD no reciclado hacia el horno (CKD “perdido”), toneladas

C_d = fracción del peso del carbonato original en el CKD no reciclado hacia el horno, fracción

F_d = fracción de calcinación alcanzada para el CKD no reciclado hacia el horno, fracción

EF_d = factor de emisión para el carbonato no calcinado contenido del CKD que no es reciclado hacia el horno, toneladas de CO_2 /toneladas de carbonato

M_k = peso o masa de la materia prima orgánica k, u otra materia prima no combustible que contiene carbono, toneladas

X_k = fracción del total de materia orgánica u otro carbono en la materia no combustible específica k, fracción

EF_k = factor de emisión para la materia prima no combustible k, que contiene carbono, toneladas de CO_2 /toneladas de carbonato

Cada método de estimación se aplica a la planta correspondiente y posteriormente se agregan las emisiones totales de la categoría.

Factores de emisión y CKD

Como factor de emisión para el clínker se utilizó el valor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (0,5101 toneladas de CO_2 /toneladas de clínker), lo que implica un valor por defecto de 65% de CaO en clínker ya que no se cuenta con datos específicos del país. Las plantas de producción indican que el único carbonato utilizado es el $CaCO_3$, por lo que no es necesaria una corrección para el MgO ni por fuentes no carbonatadas que puedan contener carbono.

Para el caso del factor de corrección por ckd, algunas plantas productoras indicaron que todo el polvo de horno es recirculado al proceso, por lo que de acuerdo con las *Directrices IPCC de 2006* se utilizó un valor de 1. Para el resto de las plantas no se tiene información, por lo que se utilizó un valor por defecto de 1,02.

Dato de actividad

Tal como se ha indicado, el dato de actividad utilizado para la serie completa ha sido la producción de clínker para una de las plantas, aunque se cuenta con registro de datos de clínker para ambas. Para una de las empresas el dato de clínker fue estimado en el período 1990-1996 a partir de la producción de cemento anual extraída del informe “Evaluación de emisiones de dióxido de carbono en la producción de cemento y análisis de mitigación en Costa Rica” de León (1997). El cemento fue multiplicado por el porcentaje de clínker brindado por la empresa e indicado en el mismo documento. Para el período 1997-2008, la misma empresa suministró directamente al IMN el dato de producción mensual de cemento por tipo y porcentaje de clínker, estimando así las toneladas del dato de actividad. Para el período 2009-2017, se obtuvo directamente el valor de clínker producido de esa planta. Para el período 1990-2017 el dato de actividad se obtuvo directamente en toneladas de clínker producido para el resto de las plantas. Para la planta cuya estimación se hace a partir de los datos de materiales carbonatados se cuenta con los totales anuales de estas materias primas. Todos los datos de actividad y las emisiones desagregadas por planta corresponden a datos confidenciales.

4.2.1.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

La misma metodología fue aplicada para toda la serie temporal, además, el mismo factor de emisión y coeficiente ckd fue aplicado como se indicó anteriormente. Los datos de actividad fueron obtenidos o estimados de la forma en que se indicó en la sección anterior para la serie.

Incertidumbre

El análisis de incertidumbre se realizó utilizando los valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para el método 1. Además, se realizó un análisis de incertidumbre por medio del método de Monte Carlo.

La incertidumbre combinada con propagación de error se estimó en 8,31 %, para dicha combinación las incertidumbres para los parámetros y dato de actividad se muestran en el cuadro 4.6 a continuación, con la justificación respectiva para su uso.

Cuadro 4.6 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por producción de cemento

Factor de Emisión		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Hipótesis de un 65% de CaO en el Clínter	8	Se le asigna el máximo debido a que no se tiene ninguna aproximación sobre la cantidad de CaO en el Clínter producido en el país.
Hipótesis de que 100% del CaO proviene del CaCO ₃	0	El único carbonato utilizado en el proceso es CaCO ₃
Hipótesis de un 100% de calcinación	1	Por defecto
Incertidumbre Factor de emisión	8,06	
Actividad		
Parámetros asociados	Incertidumbre	Justificación incertidumbre
Pesaje de clínter y materias primas	0,61	Se conoce el método de pesado de las plantas.
Hipótesis de que los componentes del CKD son los de la mezcla	0	No hay evidencia de que existan otros componentes, el CKD se recircula.
Estimación del % de calcinación del CKD	0	Recirculación de CKD, la incertidumbre de 1% del 100% de calcinación incluye también el CKD
Incertidumbre de la actividad	0,61	
Incertidumbre de las emisiones	8,09	

Para el año 2017, la combinación también se realizó por medio de una simulación de Monte Carlo, para la cual se utilizaron las consideraciones que se presentan en la Cuadro 4.7. Estos fueron los mismos valores utilizados para el método de propagación y corresponden a los valores por defecto, excepto la incertidumbre del dato de actividad ya que se conoce con certeza el método de pesado del Clínter en las plantas y por lo tanto su incertidumbre.

Se puede afirmar así que las emisiones para el año 2017 se encuentran entre 686,5 Gg CO₂ y 751,3 Gg CO₂ siguiendo una distribución normal, tal como se muestra en la Figura 4.5. Estos valores corresponden a aproximadamente ±4,5 %. La diferencia entre ambos métodos es que el Monte Carlo toma en cuenta el mayor peso del dato de actividad (toneladas de clínter) y su baja incertidumbre (2 %) en comparación al valor del factor de emisión (0,5101 toneladas de CO₂/toneladas de clínter) y el 8 % de incertidumbre asignado, mientras que en propagación del error se toma únicamente las incertidumbres relativas (2 % y 8 %).

Cuadro 4.7 Incertidumbres en la simulación de Monte Carlo para las emisiones por producción de cemento

<i>Factor de Emisión</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre ($\pm\%$)	Justificación incertidumbre y distribución	Distribución
Hipótesis de un 65% de CaO en el Clínter	8	Se le asigna el máximo debido a que no se tiene ninguna aproximación sobre la cantidad de CaO en el Clínter producido en el país.	Normal
Hipótesis de que 100% del CaO proviene del CaCO ₃	0	El único carbonato utilizado en el proceso es CaCO ₃	
Hipótesis de un 100% de calcinación	1	Por defecto	Normal
<i>Actividad</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre	Justificación incertidumbre	Distribución
Pesaje de clínter y materias primas	0,61	Se conoce el método de pesado de las plantas.	Normal
Hipótesis de que los componentes del CKD son los de la mezcla	0	No hay evidencia de que existan otros componentes, el CKD se recircula.	
Estimación del % de calcinación del CKD	0	Recirculación de CKD, la incertidumbre de 1% del 100% de calcinación incluye también el CKD	

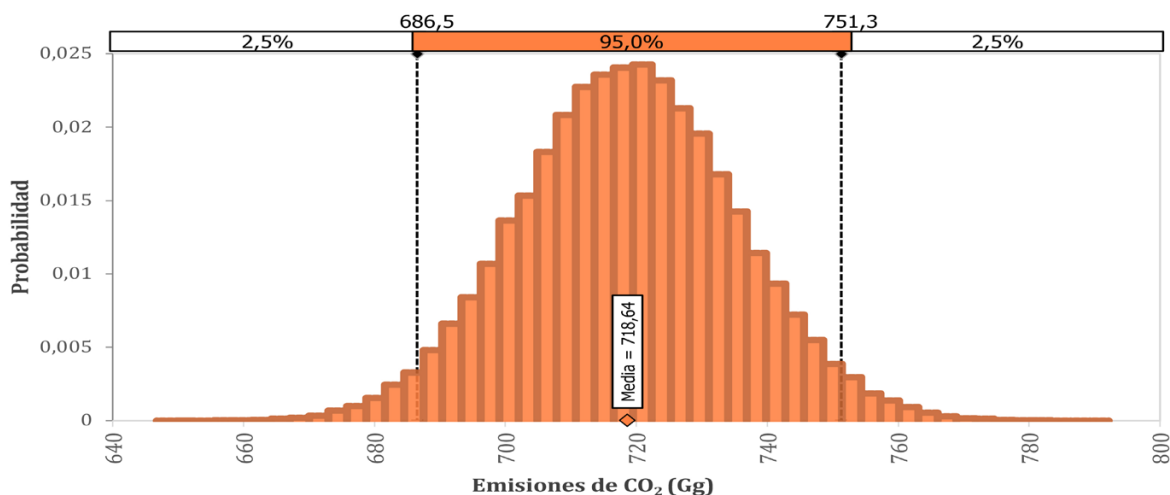


Figura 4.5 Histograma de la simulación de Monte Carlo para la estimación de incertidumbre de las emisiones de la producción de cemento.

4.2.1.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Además de los procedimientos generales de AC/CC que se aplica al inventario total nacional, se realizan algunas actividades específicas para el sector, las cuales se describen a continuación:

Verificación de las emisiones a nivel de planta

Una vez realizada la estimación de las emisiones, estas son revisadas con personal de producción y ambiente de planta. La revisión incluye todos los parámetros utilizados y su aplicación adecuada a la planta específica analizada.

Control cruzado con Programa País Carbono Neutralidad

Una de las plantas productoras de cemento se encuentra inscrita en el Programa País Carbono Neutralidad. La cual reporta bajo la norma INTE/ISO 14064. Con autorización de la planta se cuenta con estas emisiones, específicamente, las reportadas por el proceso de descarbonatación. Los datos no se encuentran en este informe debido a que son confidenciales; sin embargo, se puede asegurar que la diferencia entre la estimación con el método utilizado por la planta y el método utilizado para el INGEI no supera el 7 %; además de que la tendencia es igual para el período 2008-2017 que es para el que se cuenta con datos. La diferencia entre ambos métodos se debe a que la planta utiliza datos específicos para su reporte mientras que el método 2 utilizado en este inventario utiliza en su mayoría datos por defecto.

Revisión del Factor de emisión

Para evitar errores en el factor de emisión utilizado y en los otros parámetros que forman parte de la estimación, la compilación de las emisiones se realiza para todos los años en una misma hoja de datos.

Revisión de la tendencia histórica

Para revisar el comportamiento de las emisiones, aumento o disminución, en la Figura 4.6 se muestra la tendencia de las emisiones comparada con la tendencia de las ventas totales de cemento para el período 1991-2013, llevadas a millones de dólares de 1991. Se observa que el comportamiento de las emisiones se ajusta muy bien al de las ventas, en especial los puntos altos y puntos bajos.

Esta comparación de tendencia se realizó nuevamente con la serie 1991-2016 pero utilizando los valores de producción de la actividad manufacturera encadenada al año de referencia 2012. Como se observa en la Figura 4.7, la tendencia continua para la mayoría de los años de una manera similar a lo indicado para la Figura 4.6.

No se realizó una comparación con las emisiones calculadas con Nivel 1 utilizando la producción nacional de cemento ya que tendría el mismo comportamiento que la Figura 4.6. Es decir, solo sería utilizada para analizar la tendencia y no así las emisiones, esto debido a que en Costa Rica existe una gran variedad de cementos con contenido variable de clínker en cemento, incluso, existen en el país cementos con contenidos importantes de puzolana¹.

1 Las puzolanas son generalmente materiales de composición silíceo o silico-aluminosa que finamente molidos y en presencia de agua reaccionan con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos de silicato de calcio y aluminato de calcio capaces de desarrollar resistencia (IECA, 2013).

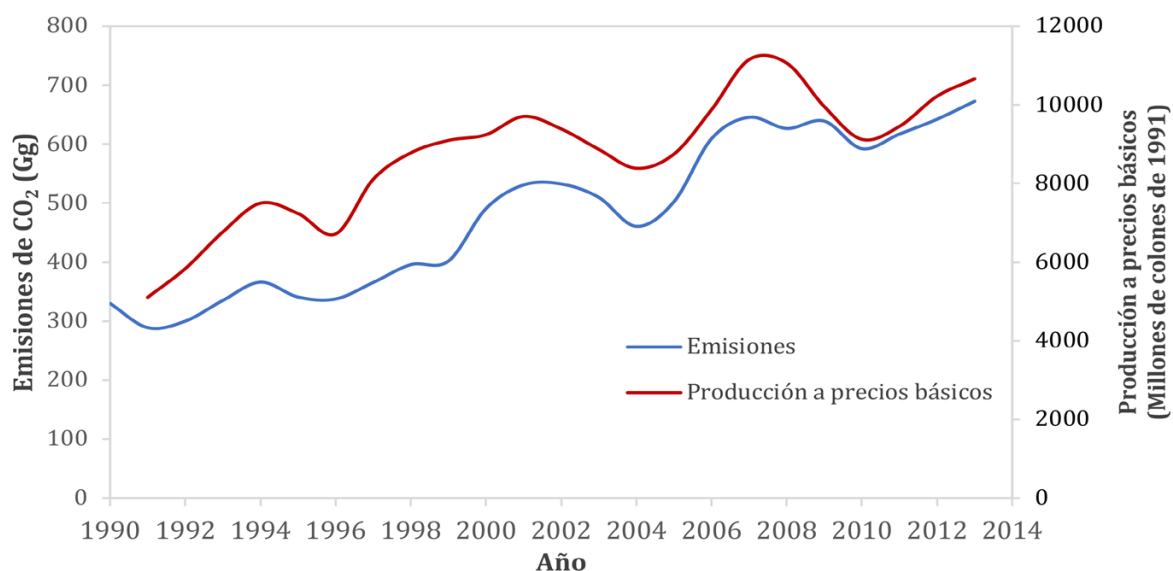


Figura 4.6 Comparación de la tendencia histórica de las emisiones y la producción de cemento a precio básicos de 1991.

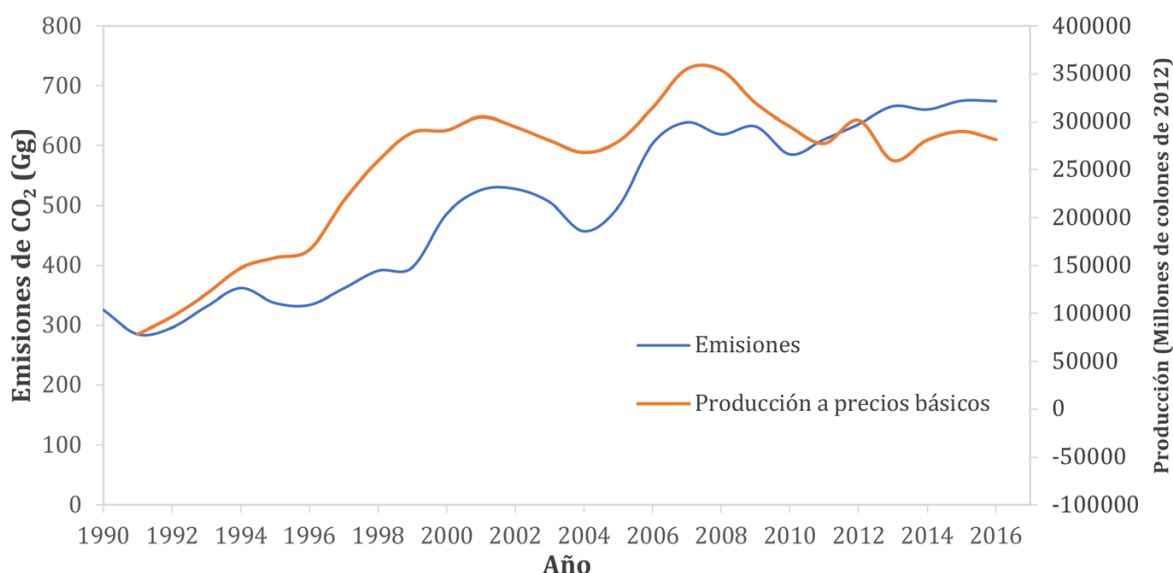


Figura 4.7 Comparación de la tendencia histórica de las emisiones y la producción de cemento a precios de 2012.

4.2.1.5. RECÁLCULOS

A diferencia del inventario 2015, para este inventario no se realizaron recálculos en esta categoría.

4.2.1.6. PLAN DE MEJORA

Tal como se indicó, esta categoría es principal y por tanto su reporte utilizando un Nivel 2 y un Nivel 3 es adecuado de acuerdo con las buenas prácticas de las *Directrices del IPCC de 2006* para esta categoría. Aunque no se planea mejoras concretas en esta categoría, se han identificado posibles cambios a futuro, como el uso de CaO en clínker específico del país.

4.2.2. Producción de cal (2.A.2)

4.2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En esta categoría se cuantifican las emisiones debidas al proceso de descarbonatación del carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de magnesio (MgCO_3) contenidos en la piedra caliza y en la dolomita respectivamente. Este proceso se describe en las ecuaciones 4.1 y 4.2.

En Costa Rica, la producción de cal se da únicamente a partir de CaCO_3 . Parte de esta cal (CaO) es empacada y vendida en lo que comúnmente se conoce como cal viva, aunque también es común la producción de hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) mediante la hidratación posterior de la cal viva. Además, esta producción se da de manera artesanal, principalmente en la Región Chorotega.

Las emisiones estimadas para esta categoría para el año 2017 fueron de 1,96 Gg de CO_2 , como se observa en el cuadro 4.8, las emisiones decrecieron 9,3 % entre el 2016 y 2017. Con respecto al 2015, las emisiones decrecieron 21 %. Otro aspecto importante para indicar es que las emisiones empezaron a decrecer desde el 2010, año en que una de las fábricas inició una reducción de su producción hasta su cierre en 2017. La Figura 4.8 muestra la tendencia completa de las emisiones desde 1990 hasta el año 2017; se observa un aumento brusco en las emisiones del año 2000 que se debe a que en ese año se reportó una alta proporción de cal viva producida, lo que difiere de la mayoría de los años en donde la cal apagada se encuentra en mayor proporción.

Cuadro 4.8. Emisiones de CO_2 en la producción de cal (2.A.2)

Gas	Unidades	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO_2	Gg	0,75	2,54	3,62	3,62	4,93	4,33	4,77	3,70	2,95	2,47	2,16	1,96

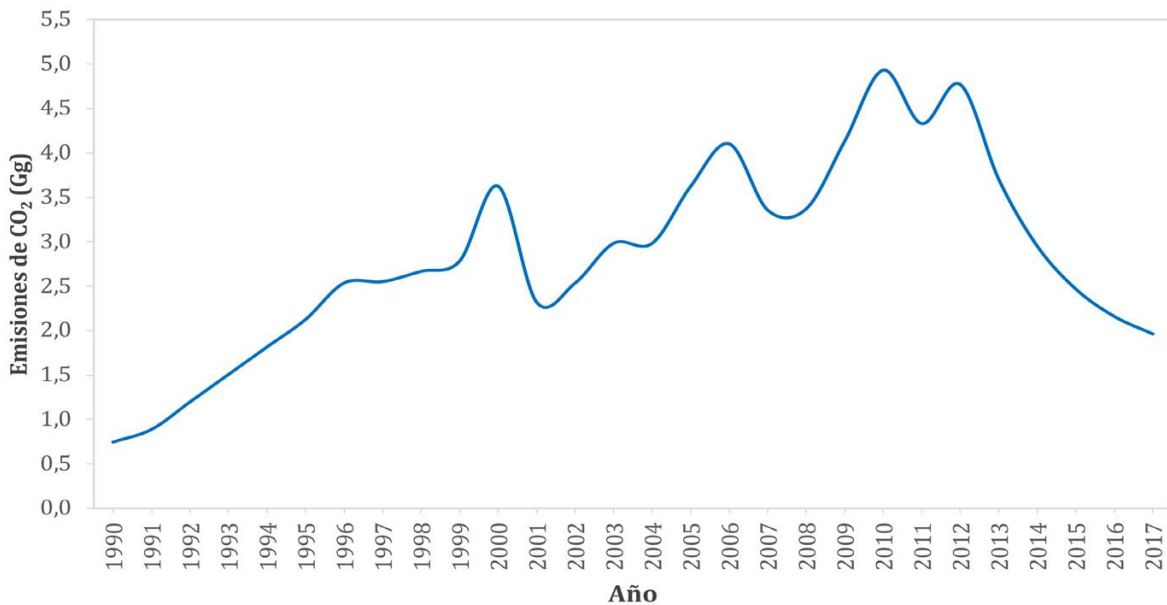


Figura 4.8 Emisiones de CO_2 en la producción de cal para el período 1990-2017.

La información sobre esta categoría se muestra en el cuadro 4.9 a continuación.

Cuadro 4.9 Información introductoria para la categoría 2.A.2

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 2	EP	D

4.2.2.2. METODOLOGÍA

La estimación de las emisiones para esta categoría se realizó de manera similar a las de producción de cemento, siguiendo el método de Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Este se basa en los datos de producción de cal por tipos como dato de actividad. Como en el país sólo se produce cal a partir de carbonato, las emisiones se determinaron utilizando la ecuación 4.5.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_{\text{cal}} * EF_{\text{cal}} * CF_{\text{lkd}} * C_h \quad (4.5)$$

Donde:

M_{cal} = producción de cal, toneladas.

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

CF_{lkd} = factor corrector de las emisiones para polvo de horno de cal (ckd), adimensional.

C_h = factor corrector para la cal hidratada, adimensional.

Este método de estimación se aplica para cada una de las plantas y posteriormente se agregan las emisiones totales de la categoría.

Factor de emisión y factor corrector para LKD

Las emisiones son estimadas utilizando factores de emisión diferentes, que dependen del año y de la planta analizada. Para una de las plantas, se cuenta con un factor de emisión específico para la cal hidratada, en el cual se agrega su contenido de agua y su contenido de CaO. Este factor es de 0,6916 toneladas de CO₂/ ton cal apagada (Blanco, 2015), el cual es aplicable al período histórico completo debido a que la operación ha sido la misma. Para el resto de las plantas se utilizó un factor de emisión por defecto de 0,75 toneladas de CO₂/tonelada de cal, el cual se determinó considerando un cociente estequiométrico por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* de 0,785 toneladas de CO₂/toneladas de CaO y un contenido de CaO (pureza) de 0,95, esto considerando el hecho de que toda la cal producida en el país es con fuerte proporción de calcio.

El tipo de horno utilizado por las diferentes plantas es similar y es de tipo “Batch” (por lotes), por lo que se asume que todo el polvo de horno generado (LKD) se toma en cuenta en producción. Esto implica que el factor corrector para LKD sea de 1.

Dato de actividad

El dato de actividad utilizado es la producción de cal viva y cal apagada. Para el período comprendido entre 2010 y 2017 se obtuvieron los datos directamente de las plantas productoras. Lo mismo ocurrió en 1996, 2000 y 2005.

Existe un período en el que no ha sido posible obtener los datos de actividad, específicamente se trata del período 1991 a 1995, 1997 a 1999 y los años 2008 y 2009. Se intentó encontrar una correlación con alguna actividad económica reportada en el Banco Central, sin embargo, la producción de cal se agrega junto con la producción de cemento, la cual, al ser una actividad de tamaño mayor es la que marca la tendencia de la actividad en general. Por lo anterior, en ausencia de datos y teniendo en cuenta que la actividad tuvo un crecimiento sostenido desde 1990 hasta el año 2012 como lo muestran los inventarios realizados en ese período, se determinaron los valores de datos de actividad de esta categoría para los años indicados anteriormente utilizando regresión lineal.

Para el año 1996 se cuenta, para una de las plantas, con el calor específico de cal viva y cal apagada producidos y para esta última con el contenido de agua agregado, por lo que la estimación se realizó utilizando un factor de cal hidratada (x) de 0,595, un contenido de agua (y) de 32%, lo que resulta en un factor corrector para cal hidratada de 0,81. Para el resto del período se utilizaron los valores por defecto de $x=0,1$ y $y=0,28$.

4.2.2.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

La estimación de la incertidumbre se llevó a cabo mediante el método 1, propagación de error, obteniendo un valor de incertidumbre para las emisiones de 8,31 %, tal como se muestra en el cuadro 4.10. Los valores utilizados fueron los que por defecto sugiere las *Directrices del IPCC de 2006*.

Cuadro 4.10 Valores de incertidumbre para la estimación de emisiones de CO₂ de la producción de cal.

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Incertidumbre del contenido de CaO en la cal	6	Aunque para una de las plantas se tiene un valor menor, se utiliza el valor por defecto medio para incluir todas las plantas en el análisis.
Factor de emisión de la cal con fuerte proporción de calcio	2	El único carbonato utilizado en el proceso es CaCO ₃
Corrección por cal hidratada	5	Por defecto
Incertidumbre Factor de emisión	8,06	
<i>Actividad</i>		
Incertidumbre de masa de cal producida	2	Máximo por defecto, no se conoce el método de pesado de las plantas.
Hipótesis de que los componentes del LKD son los de la mezcla	0	No hay evidencia de que existan otros componentes, el LKD se recircula.
Estimación del % de calcinación del LKD	0	Recirculación de LKD, la incertidumbre de 1% del 100% de calcinación incluye también el LKD.
Incertidumbre de la actividad	2,00	
Incertidumbre de las emisiones	8,31	

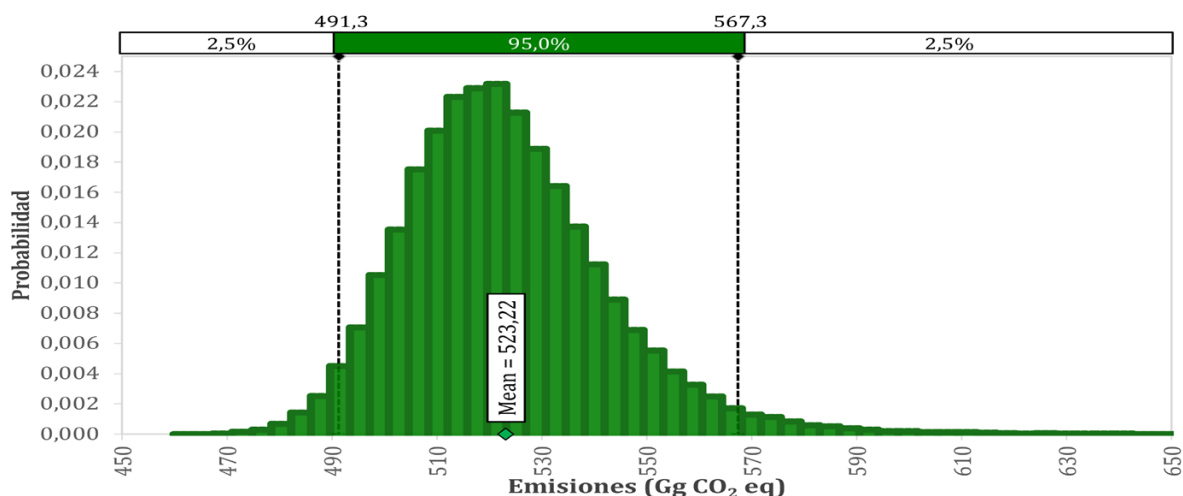


Figura 4.9 Análisis de Monte Carlo para las emisiones de CO₂ de la producción de cal (2.A.2).

En cuanto al análisis de Monte Carlo para la determinación de la incertidumbre, se determinó que las emisiones de CO₂ debidas a la producción de cal son de 1,96 Gg de CO₂ con un valor inferior de 1,849Gg y un valor superior del intervalo de 2,077 Gg, esto a un 95 % de confianza siguiendo una distribución normal, tal como se observa en la Figura 4.9.

4.2.2.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Como todas las categorías del inventario, esta es sometida a una verificación general. A diferencia de cemento, no se puede comparar con estadísticas nacionales ya que esta actividad se realiza de manera artesanal en zonas rurales del país. Se realiza una verificación de las emisiones con la planta de producción más grande.

4.2.2.5. RECÁLCULOS

En el cuadro 4.11 se muestra la metodología y parámetros utilizados en los inventarios anteriores. En este inventario, tal como se mencionó, se utiliza lo indicado en la sección 4.2.2.2.

Cuadro 4.11 Metodologías de estimación utilizadas en inventarios anteriores de la producción de cal (2.A.2)

Año de inventario	Metodología utilizada	Parámetros
1990	No se estimó	
1996	IPCC/OECD (1997)	DA: Producción de cal viva FE: por defecto, 0,79 ton CO ₂ / ton cal viva
2000	Nivel 2-Directrices revisadas del IPCC de 1996	DA: Producción de cal FE: por defecto
2005	Nivel 2-Directrices revisadas del IPCC de 1996	DA: Producción de cal FE: por defecto
2010	Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Igual que en la sección 2.2.2 de este informe
2012	Nivel 2-Directrices IPCC 2006	Igual que en la sección 2.2.2 de este informe

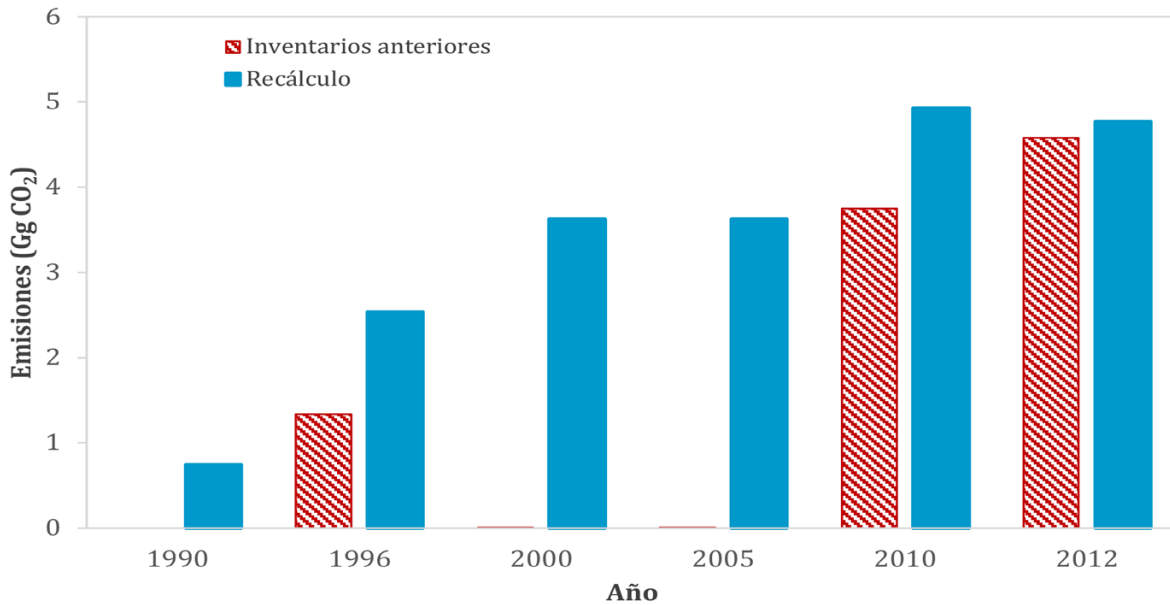


Figura 4.10 Recálculos de las emisiones debidas la fabricación de cal (2.A.2).

Las diferencias entre las emisiones estimadas y los inventarios anteriores se muestran en la Figura 4.10. Como se observa, para el caso de 1990 no se habían reportado emisiones anteriormente. En el caso de 1996, las emisiones calculadas en ese momento fueron considerablemente menores debido a que, aunque se tenía el dato, no se había tomado en cuenta la producción de cal hidratada. Otra diferencia para el año 1996 fue el factor de emisión para cal viva, mientras que en 1996 se utilizó 0,79 ton CO₂/ ton cal viva esto debido a que se consideraba un 100% de la cal producida, en este inventario se utilizó 0,746 ton CO₂/ ton cal viva asumiendo 95% de pureza. Para el año 2000 y 2005, se corrigieron los datos por cal hidratada con los valores por defecto. Esto no se hizo en los inventarios anteriores; además se habían subestimado las emisiones por un factor de mil, probablemente debido a la conversión de unidades empleadas. Por último, para el año 2010 y 2012, se corrigió la pureza por defecto utilizada, debido a un error en las *Directrices del IPCC del 2006*. Se utilizó en esos inventarios un valor de 78,5%, el cual debería ser de acuerdo con la versión en inglés de 95%. La corrección por cal hidratada también fue incluida en este inventario lo que también contribuyó en la variación de las emisiones. No hubo cambios en el inventario de 2015.

4.2.2.6. PLAN DE MEJORA

Como plan de mejora a mediano plazo está el replicar el estudio realizado en una de las plantas para determinar el CaO en Ca(OH)₂ al menos a otra de las plantas.

4.2.3. Producción de vidrio (2.A.3)

4.2.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

Para la producción de vidrio se utilizan como materias primas varios carbonatos, que en su conversión a sus respectivos óxidos le aportan una gran variedad de propiedades al vidrio. Entre los

principales carbonatos se encuentra el carbonato de calcio (CaCO_3), arena, dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y carbonato de sodio (Na_2CO_3). Tal como ocurre en la producción de cemento y de cal, se da la generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, durante los procesos de producción otra materia prima importante es el vidrio reciclado, el cual a mayor proporción presente produce mayor reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para el 2017 las emisiones fueron de 16,67 Gg de CO_2 . Las emisiones estimadas para los años en los que se han realizado inventarios anteriores y para los últimos cinco años se muestran en el cuadro 4.12 y en la Figura 4.11.

Cuadro 4.12 Emisiones de CO_2 en la producción de vidrio (2.A.3)

Gas	Unidades	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO_2	Gg	8,27	8,42	12,80	16,80	16,10	15,79	19,58	18,41	18,40	16,93	16,34	16,67

En 2017, las emisiones crecieron con respecto al año anterior un 2 %. Respecto al último año de inventario reportado (2015) hay una disminución del 1,6 % y el crecimiento total de las emisiones desde 1990 al 2017 ha sido de 101,63 %. Según Faba (2014), entre 1999 y 2000, entró en operación un nuevo horno aumentando la producción de vidrio de 170 toneladas diarias a 200 toneladas diarias. El cambio no se refleja de manera abrupta en las emisiones debido a que, con el nuevo horno, el % de vidrio reciclado utilizado fue más alto (cerca de 45 %) que el de años anteriores (35 %), lo que se explicará más adelante. Para el caso particular de los años 2006 y 2007 el aumento notable en emisiones obedece a la combinación entre un aumento de la producción y una reducción significativa del vidrio reciclado utilizado (16 %). Las demás variaciones se deben generalmente a cuestiones relacionadas con la demanda de envases.

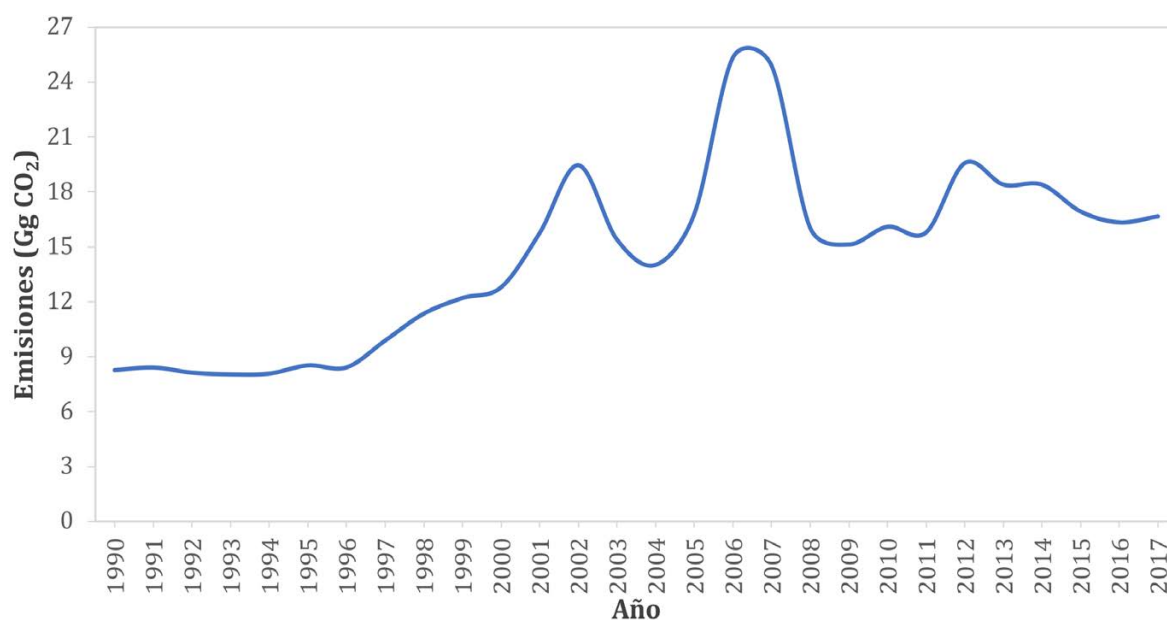


Figura 4.11 Emisiones de CO_2 en la producción de vidrio para el período 1990-2015.

La información sobre esta categoría se muestra en el cuadro 4.13.

Cuadro 4.13 Información introductoria para la categoría 2.A.3

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1	EP	D

4.2.3.2. METODOLOGÍA

La estimación de las emisiones para la producción de vidrio se realizó siguiendo el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* utilizando la producción de vidrio como dato de actividad. Específicamente, se determinaron las emisiones utilizando la ecuación 4.6.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_g * EF * (1 - CR) \tag{4.6}$$

Donde:

M_g = Masa de vidrio producido, toneladas.

EF = factor de emisión para la manufactura de vidrio, toneladas de CO₂/toneladas de vidrio.

CR = proporción de vidrio reciclado para el proceso, adimensional.

Factor de emisión

De acuerdo con la información suministrada por la empresa los tipos de vidrio que se producen tienen un factor de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* de 0,21 kg CO₂/kg vidrio. Es por esto por lo que se utiliza este factor de emisión en lugar del recomendado para el Nivel 1 de 0,2 kg CO₂/kg vidrio.

Dato de actividad y radio de cullet

Se tiene la información detallada por tipo de vidrio y porcentaje de cullet² para el período 2000-2008, tal como se indicó, todos tienen el mismo factor de emisión por defecto. Para el período 2009-2017, se cuenta únicamente con la producción total, por lo que se utilizó el porcentaje de cullet promedio del período 2000-2008. No es posible relacionar las proporciones de cada tipo de vidrio en el período 2000-2008 ya que varían significativamente año con año, de ahí que no se aplicaran las proporciones promedio de ese período al período 2009-2017. De los datos del período 1990-1999 únicamente se cuenta con el dato de actividad de 1996 y fue imposible obtenerlos, por lo que para el resto de los años se estimaron relacionándolos con la producción de vidrio en millones de dólares de 1991 suministrada por el Banco Central de Costa Rica.

4.2.3.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

La misma metodología fue aplicada para toda la serie temporal; además, se utilizó el mismo factor de emisión y el correspondiente porcentaje de cullet. Los datos de actividad fueron obtenidos o estimados de la forma en que se indicó en la sección anterior para la serie.

Incetidumbre

El análisis de incertidumbre se realizó utilizando los valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para el método 1. Además, se realizó un análisis de incertidumbre por medio del método de Monte Carlo.

La incertidumbre combinada con propagación de error se estimó en 27,4 %. Para dicha combinación las incertidumbres para los parámetros y dato de actividad se muestran en el cuadro 4.14 junto con la justificación respectiva para su uso.

Cuadro 4.14 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por producción de vidrio

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
% de Cullet	25	Este valor se determinó con los datos de cullet con que se cuenta.
Factor de emisión	10	Por defecto
Incertidumbre Factor de emisión	26,93	
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre	Justificación incertidumbre
Masa de vidrio	5	Máximo por defecto, no se conoce el método de pesado de las plantas.
Incertidumbre de la actividad	5,00	
Incertidumbre de las emisiones	27,4	

Para el año 2017, la combinación también se realizó por medio de una simulación de Monte Carlo, para la cual se utilizaron las consideraciones que se presentan en la Cuadro 4.15.

Cuadro 4.15 Incertidumbres en la simulación de Monte Carlo para las emisiones por producción de vidrio

<i>Factor de Emisión</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
% de Cullet	25	Este valor se determinó con los datos de cullet con que se cuenta.	Normal
Factor de emisión	10	Por defecto	Normal
<i>Actividad</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre	Justificación incertidumbre	Distribución
Masa de vidrio	5	Máximo por defecto, no se conoce el método de pesado de las plantas.	Normal

A partir de esta información se puede afirmar que las emisiones debidas a la producción de vidrio se encuentran entre 13,85 Gg de CO₂ y 19,67 Gg de CO₂; además, como se observa en la figura, sigue una distribución de probabilidad normal. Se realizó un ajuste para una distribución normal y se concluyó que las emisiones son 16,67±2,9 Gg de CO₂ para el año 2017.

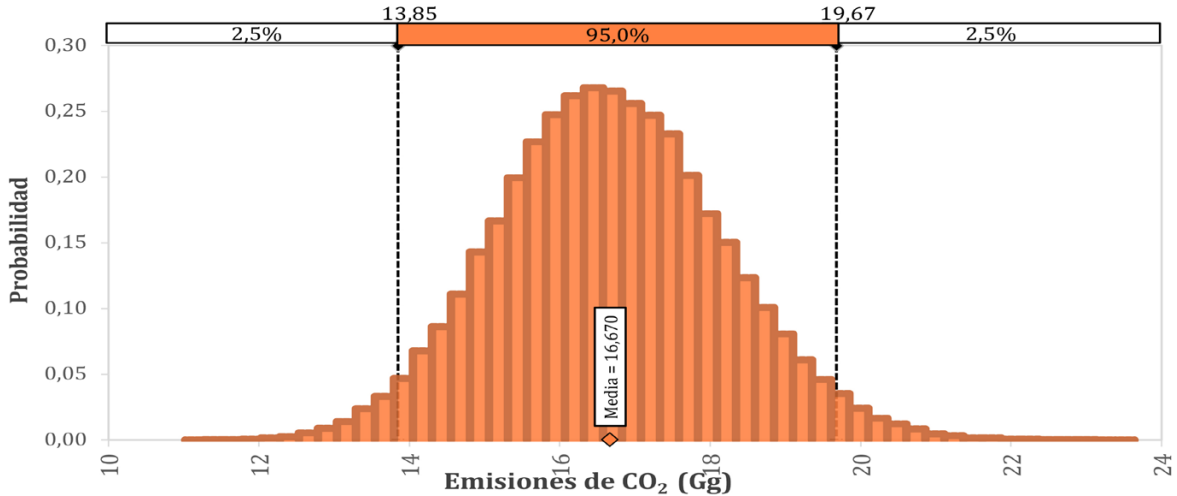


Figura 4.12 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de la producción de vidrio.

4.2.3.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Además de los procedimientos generales de AC/CC que se aplica al inventario total nacional, se realizan algunas actividades específicas para el sector, las cuales se describen a continuación:

Revisión del Factor de emisión

Para evitar errores en el factor de emisión utilizado y en los otros parámetros que forman parte de la estimación, la compilación de las emisiones se realiza para todos los años en una misma hoja de datos.

Revisión de la tendencia histórica

Se revisa el comportamiento de las emisiones, aumento o disminución comparándolo con la producción de vidrio en millones de dólares encadenados a 2012, información que se obtiene del

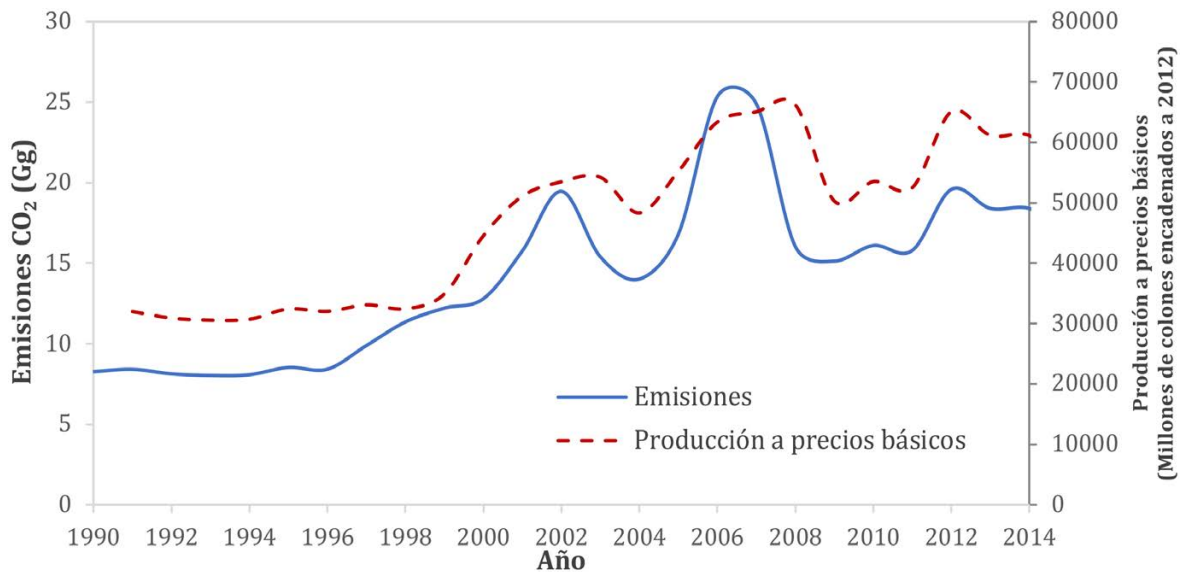


Figura 4.13 Comparación de tendencia histórica de las emisiones de la producción de vidrio y la producción

Banco Central de Costa Rica. Tal como se observa en la Figura 4.13, el comportamiento de las emisiones se ajusta muy bien al de las ventas.

4.2.3.5. RECÁLCULOS

Para esta categoría se contaban con estimaciones de CO₂ únicamente en los inventarios de 2010, 2012 y 2015; además, para el año 1996, 2000 y 2005 se reportaron únicamente las emisiones de compuesto volátiles diferentes de metano. En el caso del 2010, la diferencia entre el valor reportado anteriormente (25,43 Gg CO₂) y el presentado en este inventario (16,10 Gg CO₂) se debe a que en ese momento se estimó considerando que no se usaba vidrio reciclado en el proceso; en el 2012 y 2015 no hubo cambios en las emisiones.

4.2.3.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

4.2.4. Otros Usos de carbonatos en los procesos: Carbonato de sodio (2.A.4b)

4.2.4.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

De acuerdo con las *Directrices del IPCC del 2006* existen procesos en los que se utiliza carbonato de sodio (Na₂CO₃) que resultan en la liberación de CO₂. Entre estos se encuentran incluidos la producción de vidrio, de jabones y de detergentes, la desulfuración de gases de combustión por vía húmeda; los productos químicos; la pulpa y el papel y otros productos de consumo común. Tanto su producción como consumo producen la liberación de CO₂.

Para el 2017 las emisiones fueron de 4,15 Gg de CO₂. En el cuadro 4.16 se encuentran las emisiones para los años anteriores en los que se presentaron inventarios.

Cuadro 4.16 Emisiones de CO₂ debidas a otros usos de carbonato de sodio (2.A.4b)

Gas	Unidades	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	Gg	0,38	0,324	0,69	3,77	1,91	3,56	4,60	4,10	1,29	3,43	2,28	4,15

La Figura 4.14 muestra las emisiones para el período 1990-2017. En 2017, las emisiones aumentaron con respecto al año anterior un 82 %, con respecto a 2015 fueron 21 % menores y entre 1990 y 2017 las emisiones crecieron casi 10 veces. Para los años 2002 y 2007 no hubo emisiones debido a otros usos, ya que toda la importación fue consumida en procesos reportados en otras categorías.

La información general para la categoría 2.A.4b se muestra en el cuadro 4.17.

Cuadro 4.17 Información introductoria para la categoría 2.A.4b

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1	EN	D

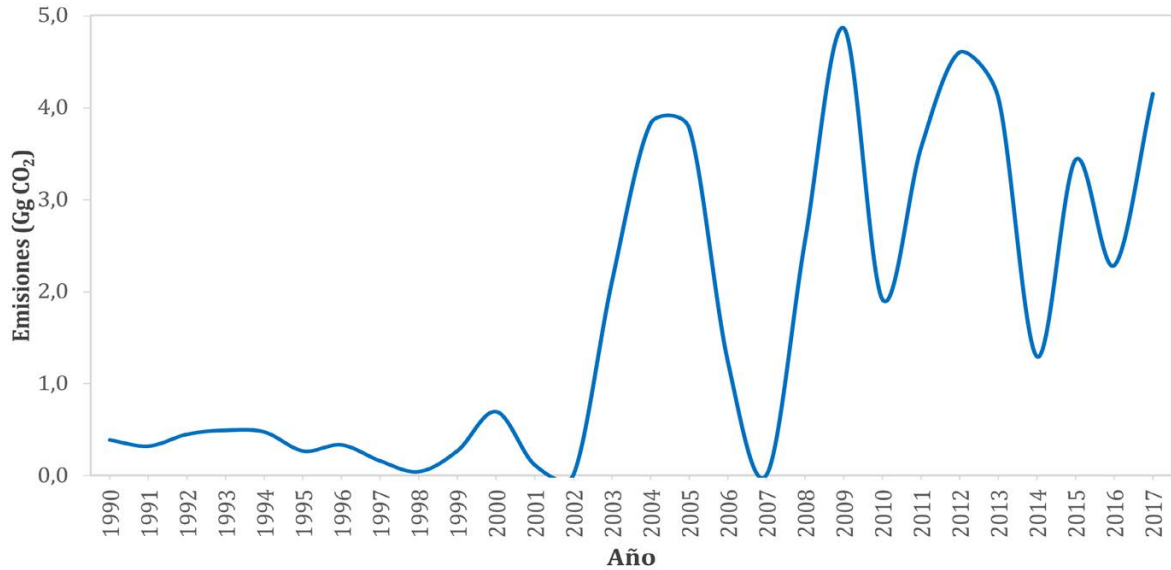


Figura 4.14 Emisiones de CO₂ debidas a otros usos de Na₂CO₃ para el período 1990-2017

4.2.4.2. METODOLOGÍA

La estimación de las emisiones para otros usos de carbonato de sodio se realizó siguiendo el método de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* utilizando el consumo de carbonato de sodio como dato de actividad. Específicamente, se determinaron las emisiones utilizando la ecuación 4.7.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = M_c * EF \tag{4.7}$$

Donde:

M_c = Masa de carbonato de sodio.

EF = factor de emisión para el carbonato de sodio, toneladas de CO₂/toneladas de Na₂CO₃.

Factor de emisión

Se utilizó el factor de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* de 0,41492 ton CO₂/ton de Na₂CO₃.

Dato de actividad

En Costa Rica no existe producción de carbonato de sodio, por lo que el dato de actividad para esta categoría se basa en las importaciones menos las exportaciones (en ocasiones se importa y se reexporta al detalle). También fue restada la cantidad de carbonato de sodio que se utiliza en la fabricación de vidrio, ya que esas emisiones fueron reportadas en la categoría 2.A.3. Debido a que no se cuenta con información detallada, se asume que la pureza del material es 100 %. La cantidad de carbonato que genera emisiones se encuentra tabulada en el cuadro 4.18 para los inventarios anteriores y los últimos 8 años de la serie. Para el resto de los años se encuentran en el cuadro B.2.1 del Anexo B.

Cuadro 4.18 Consumo de carbonato de sodio en otros usos

Año	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo Na ₂ CO ₃ (ton)	910,8	781,7	1655,0	9081,2	4595,9	8578,4	11081,4	9878,0	3101,6	8259,2	5489,0	9990,3

4.2.4.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

Existe gran variabilidad de las importaciones de carbonato de sodio al país en el período analizado. De ahí que no exista una tendencia clara de las emisiones, ya que a nivel metodológico se empleó el mismo a toda la serie.

Incertidumbre

Los valores de incertidumbre utilizados para esta categoría se muestran en el cuadro 4.19 para la estimación por propagación de error y en el cuadro 4.20 para Monte Carlo. Para este caso la incertidumbre es bastante alta ya que no se ha rastreado el uso final del carbonato de sodio.

Se puede afirmar que las emisiones debidas al consumo de carbonato de sodio en otros usos no cuantificados en otras categorías en el inventario nacional fueron para el año 2017 de 4,15 Gg de CO₂ y que a 95 % de confianza se encuentran entre 0 Gg de CO₂ y 8,29 Gg de CO₂. Esto se puede observar en el gráfico de la simulación de Monte Carlo en la Figura 4.15.

Cuadro 4.19 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por consumo de carbonato de sodio

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
100 % Pureza	5	Se utiliza el máximo valor por defecto.
Incertidumbre Factor de emisión	5	
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Masa de carbonato	100	No se puede determinar el uso final del carbonato con seguridad.
Incertidumbre de la actividad	100,0	
Incertidumbre de las emisiones	100,12	

Cuadro 4.20 Incertidumbres en la simulación de Monte Carlo para emisiones por consumo de carbonato de sodio

<i>Factor de Emisión</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
100 % Pureza	5	Se utiliza el máximo valor por defecto.	Normal
<i>Actividad</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
Masa de carbonato	100	No se puede determinar el uso final del carbonato con seguridad.	Normal

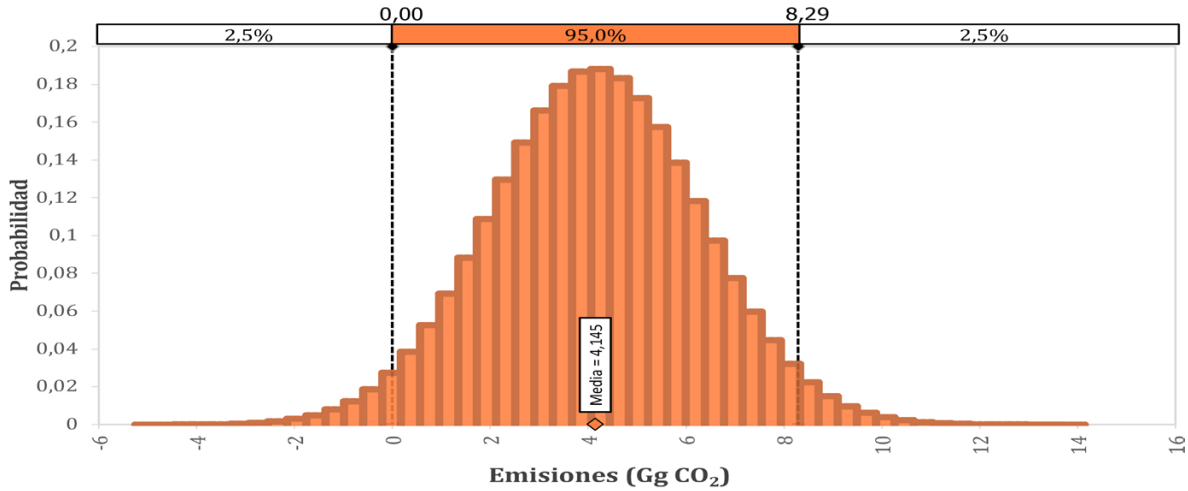


Figura 4.15 Histograma de la simulación de Monte Carlo para la estimación de incertidumbre de las emisiones del consumo de Na_2CO_3 .

4.2.4.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Esta categoría se somete a control de calidad para toda la serie empleando una sola hoja de cálculo, chequeo del factor de emisión y dato de actividad.

4.2.4.5. RECÁLCULOS

Esta categoría fue únicamente reportada en el inventario de 2015 y 1996. Para ese año se reportaron 4,16 Gg de CO_2 , sin embargo, se realizó el recálculo de la estimación ya que no se había restado del dato de actividad la cantidad de carbonato sódico utilizado en la producción de vidrio. El nuevo cálculo y que se muestra en el cuadro 4.16, es de 0,32 Gg de CO_2 . Para el 2015 no hubo recálculo.

4.2.4.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

4.3. Industria Química (2.B)

4.3.1. Producción de ácido nítrico (2.B.2)

4.3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En Costa Rica existió producción de ácido nítrico por parte de Fertica S.A, desde 1963 hasta 1996, momento en el que decidieron trasladar esta producción a otro país. El proceso utilizado era la oxidación de amoníaco en donde se generaba óxido nitroso como subproducto.

Las emisiones para el periodo comprendido entre 1990 y 1996 se muestra en el cuadro 4.21. Las emisiones son presentadas tanto en toneladas de N_2O como en CO_2 eq. El máximo de emisiones se alcanzó en 1996 con 252,52 Gg de CO_2 eq. Para el período indicado, Fertica S.A operaba con dos plantas sin mostrar cambios significativos en las mismas, por lo que la variación en las emisiones se debe a cambios en la producción por disminución o incremento en la demanda de fertilizantes en el exterior.

Cuadro 4.21 Emisiones debidas a la producción de ácido nítrico (2.B.2)

Gas	Unidades	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
N ₂ O	ton	637,20	559,58	745,32	647,96	544,30	689,12	814,57
CO ₂ eq	Gg	197,53	173,47	231,05	200,87	168,73	213,63	252,52

La información necesaria para estimar las emisiones de la categoría 2.B.2 se muestra en el cuadro 4.22.

Cuadro 4.22 Información introductoria para la categoría 2.B.2

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

4.3.1.2. METODOLOGÍA

Para esta categoría se utilizó el Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*, la cual se basa en la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \text{EF} * \text{NAP} \quad (4.8)$$

Donde:

EF = factor de emisión para el N₂O, kg de N₂O/toneladas de **ácido nítrico producido**.

NAP= Producción de ácido nítrico, NAP.

Factor de emisión

No se cuenta con información detallada sobre el proceso específico de producción que se utilizó, por lo que el factor de emisión es el recomendado por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* de 9 kg de N₂O/toneladas de **ácido nítrico producido**.

Dato de actividad

Para 1996, se obtuvo la producción de ácido nítrico directamente de la planta. Para el período 1990-1995, el dato se obtuvo a partir de la producción nacional de fertilizantes del Banco Central de Costa Rica. Se consideró un 100% de pureza en el ácido producido. Esos datos se encuentran tabulados en el cuadro 23.

Cuadro 4.23 Producción de ácido nítrico utilizado para la estimación de emisiones de la categoría 2.B.2

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Producción (ton)	70800,0	62175,4	82813,0	71996,1	60477,7	76568,9	90507,8

4.3.1.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

La misma metodología fue empleada en todos los años estimados.

Incertidumbre

Como esta categoría contribuye únicamente a la tendencia y no a las emisiones del año 2017, su incertidumbre se estimó únicamente utilizando el método de propagación del error. Para el factor de emisión se utilizó la incertidumbre por defecto de $\pm 40\%$. Para el dato de actividad, debido a la forma en que fue estimado, se le añade un 10% adicional al 2% por defecto, quedando en 12%. Así, la incertidumbre para las emisiones de ácido nítrico es de $\pm 13\%$.

4.3.1.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Al ser una actividad que ya no ocurre en el país, su estimación se somete únicamente a controles generales en la plantilla de cálculo.

4.3.1.5. RECÁLCULOS

Esta categoría se reportó únicamente en el inventario de 1996. En ese informe se reportaron 498 toneladas de N_2O , lo que corresponde a 316,57 toneladas menos que las reportadas en este inventario para ese mismo año (814,57 toneladas), el dato de actividad es el mismo, la diferencia se debe al que se utilizó las *Directrices del IPCC IPCC/OECD (1997)*, y el factor de emisión recomendado era de 5,5 kg de N_2O /toneladas de **ácido nítrico producido, un 39 % menor al utilizado actualmente.**

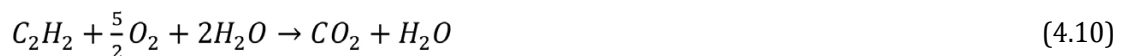
4.3.1.6. PLAN DE MEJORA

Por razones obvias, no se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

4.3.2. Producción de carburo y su uso para producción de acetileno (2.B.5)

4.3.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En Costa Rica no hay producción de carburo de calcio, sin embargo, es utilizado como materia prima en la fabricación de acetileno (ecuación 4.9) el cual es posteriormente empleado en aplicaciones de soldadura produciendo CO_2 tal como se muestra en la ecuación 4.10.



En el cuadro 4.24 se encuentran tabuladas las emisiones para años anteriores de inventario y para los últimos 6 años. En 2017 las emisiones fueron de 0,34 Gg de CO_2 , estas crecieron casi un 21,1% con respecto al año anterior, fueron iguales a las de 2015 y 18% mayores a las de 1990. Excepto por el período 1996-2002 donde las importaciones de carburo de calcio aumentaron, en el resto de los años las emisiones se han mantenido con pocas variaciones. Este comportamiento se observa en la Figura 4.16.

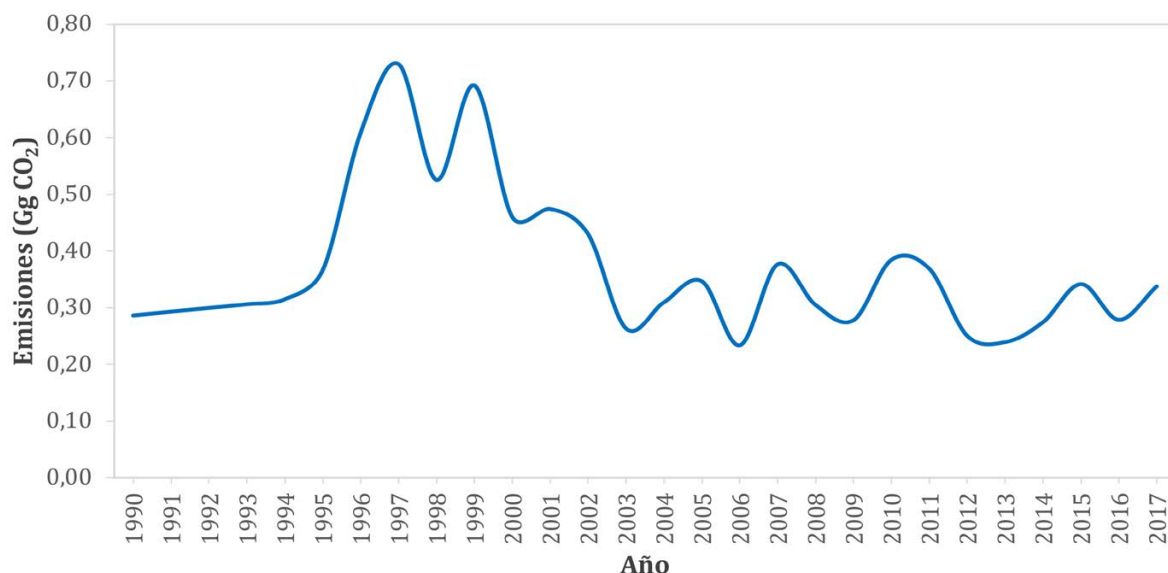


Figura 4.16. Emisiones de CO₂ debidas al uso de CaC₂ para el período 1990-2017

Cuadro 4.24 Emisiones de CO₂ debidas al uso de carburo de calcio (2.B.5)

Gas	Unidades	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	Gg	0,29	0,609	0,46	0,35	0,38	0,37	0,25	0,24	0,27	0,34	0,28	0,34

Para poder estimar las emisiones de esta categoría se utilizaron los supuestos que se indican en el cuadro 4.25 y que se detallan más adelante.

Cuadro 4.25 Información introductoria para la categoría 2.B.5

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1	EN	D

4.3.2.2. METODOLOGÍA

Se utilizó la metodología Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*, tal como se indica en la ecuación 4.11.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{EF} * \text{AD} \quad (\text{xxxx})$$

Donde:

EF = factor de emisión para el CO₂, ton de CO₂/toneladas de carburo de calcio usado.

AD= Masa de carburo de calcio consumido, toneladas.

Factor de emisión

Se utiliza el factor de emisión por defecto recomendado para el uso del producto de 1,100 ton de CO₂/toneladas de carburo de calcio usado.

Dato de actividad

El dato de actividad utilizado son las importaciones de carburo de calcio menos las exportaciones, por lo que se considera que todo lo que permanece en el país se utiliza para producir acetileno y que este es utilizado en el mismo año de producción. El dato de actividad se obtuvo directamente del Ministerio de Hacienda para el período 1996-2017, mientras que para 1990-1994 se realizó una extrapolación de la información. La información para los años de inventarios anteriores y para los últimos 8 años se encuentra en el cuadro 4.26. Para el resto de la serie los datos se encuentran en el Anexo B, Cuadro B.2.3.

Cuadro 4.26. Consumo de carburo de calcio

Año	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo CaC ₂ (ton)	260,2	553,4	418,0	315,2	349,4	335,2	227,7	217,4	249,4	310,5	253,4	306,8

4.3.2.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

Toda la serie fue estimada utilizando el mismo método.

Incertidumbre

La incertidumbre se estimó por los dos métodos, en el caso de propagación de error que se muestran en el cuadro 4.27, se obtuvo una incertidumbre de 11,2 %.

Cuadro 4.27 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por uso de carburo de calcio

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Incertidumbre Factor de emisión	10	Máximo por defecto
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Masa de carburo de calcio	5	Máximo por defecto
Incertidumbre de la actividad	5,00	
Incertidumbre de las emisiones	11,2	

En el cuadro 4.28 y Figura 4.17 se encuentra la estimación de incertidumbre utilizando Monte Carlo, en donde se puede afirmar que las emisiones para el año 2017 fueron de 0,337 Gg de CO₂, con un límite inferior de 0,3004 Gg de CO₂ y un límite superior de 0,3756 Gg de CO₂.

4.3.2.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Esta categoría se somete a control de calidad mediante revisión del dato de actividad y factor de emisión en la planilla utilizada para el cálculo.

Cuadro 4.28 Incertidumbres utilizadas en simulación de Monte Carlo de las emisiones de por uso de CaC₂

<i>Factor de Emisión</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
Incertidumbre Factor de emisión	10	Máximo por defecto	Normal
<i>Actividad</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
Masa de carburo de calcio	5	Máximo por defecto	Normal

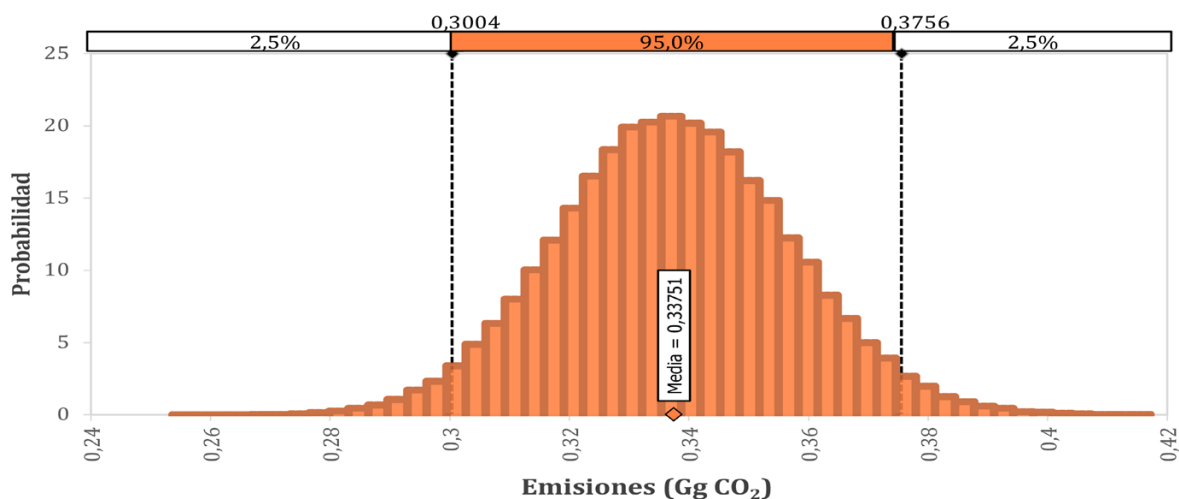


Figura 4.17 Histograma de la simulación de Monte Carlo para la estimación de incertidumbre de las emisiones del uso de CaC₂

4.3.2.5. RECÁLCULOS

Todos los cálculos para esta categoría son nuevos, exceptuando los cálculos para inventarios del 2015, 2012, 2010, 2005 y 2000 cuyas emisiones ya se incluyeron en los totales presentados en el INGEI 2015.

4.3.2.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

4.4. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente (2.D)

4.4.1. Uso de lubricantes (2.D.1)

4.4.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

Durante su uso en aplicaciones tanto en la industria como en el transporte, parte de los lubricantes se oxidan, generando emisiones de dióxido de carbono. En esta categoría se incluyen únicamente estas emisiones, por lo que se excluyen las emisiones de lubricantes utilizados con fines energéticos como, por ejemplo: los utilizados en motores de dos tiempos y los utilizados como combustible en

quemadores industriales (se incluyen en el sector Energía). En este inventario estas emisiones se encuentran desagregadas en lubricantes y grasas, el CO₂ estimado para años de inventario se encuentra tabulado en el cuadro 4.29, en donde se observa que las emisiones totales para la categoría en el 2017 fueron 14,55 Gg de CO₂.

Las emisiones del año 2017 fueron 1,7 % menores que las de 2016, 6% mayores con respecto al 2015 y 78,8 % es el crecimiento desde 1990. La variabilidad en los datos, especialmente, en el período 1997-2009 se debe únicamente a cambios en las importaciones de lubricantes. La tendencia durante el período 1990-2017 se muestra en la Figura 18.

Cuadro 4.29 Emisiones debidas al uso de lubricantes (2.D.1)

Lubricante	Gas	Unidades	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Aceite	CO ₂	Gg	8,13	9,50	13,31	13,26	12,91	12,59	12,81	13,46	13,59	13,68	14,77	14,52
Grasa	CO ₂	Gg	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,03	0,03
Total	CO ₂	Gg	8,14	9,52	13,33	13,28	12,92	12,60	12,81	13,47	13,61	13,73	14,81	14,55

El cuadro 4.30 muestra las suposiciones utilizadas para estimar las emisiones de la categoría 2.B.5 tanto de grasas como de aceites lubricantes.

Cuadro 4.30 Información introductoria para la categoría 2.D.1

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 2	EN	D

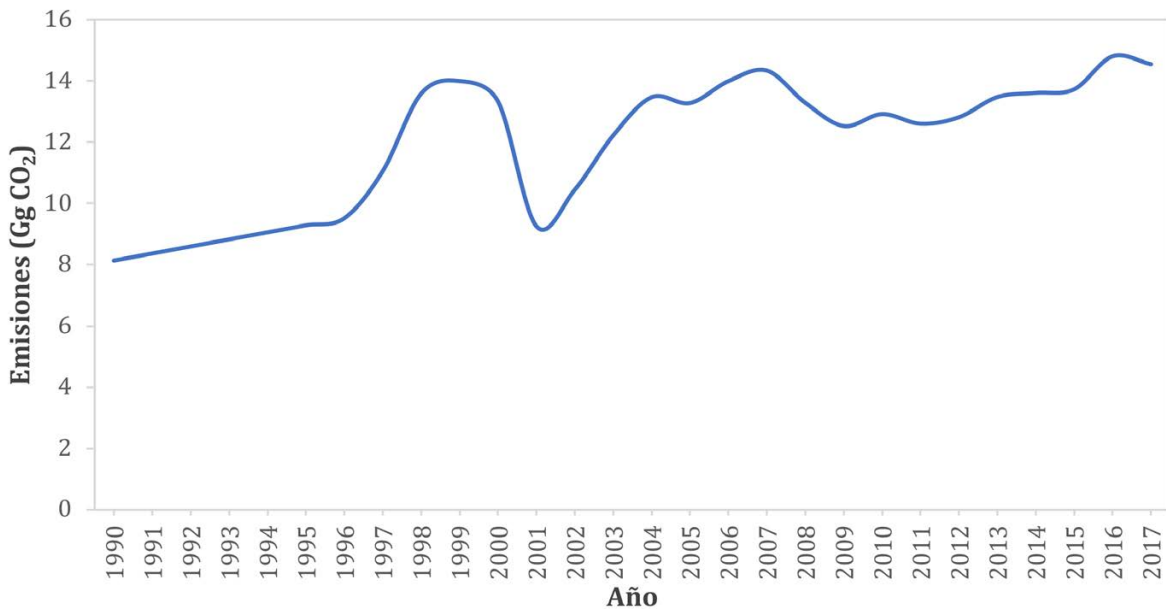


Figura 4.18 Emisiones de CO₂ debidas al uso de lubricantes

4.4.1.2. METODOLOGÍA

Para esta categoría se empleó la metodología de Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006*, la cual considera las emisiones por tipo de lubricantes (aceites y grasas), la estimación se realiza empleando la ecuación 4.12.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i LC_i * CC_i * ODU_i * 44/12 \quad (4.12)$$

Donde:

LC_i= Consumo de lubricantes o grasas, TJ.

CC_i= Contenido de carbono, ton Carbono/ TJ

ODU_i= factor de oxidación durante uso

i= tipo de lubricante

Factor de emisión

Se utiliza el valor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* para el contenido de carbono (20 toneladas de carbono/ TJ) y para el ODU (0,2 para aceites y 0,05 para grasas. Además, como los datos de actividad se obtienen en masa, se utilizan también los valores por defecto para el poder calórico neto (40,2 TJ/Gg).

Dato de actividad

Los datos se obtienen de las importaciones y exportaciones por tipo de lubricantes del Ministerio de Hacienda. Se cuenta con información desagregada para el período 2005-2017, mientras que para el período 1997-2004 se cuenta con montos totales de importaciones y exportaciones por lo que para desagregar en grasas y aceites se aplicó el promedio del período 2005-2017. Para el caso del intervalo entre 1990 y 1995 se extrapolaron los datos de consumo. Se encuentran excluidos de los datos de actividad todos los lubricantes de dos tiempos, cuya combustión se reporta en el sector energía del inventario nacional de emisiones. Los datos de uso de grasa y de aceites se encuentran tabulados en el cuadro 4.31 para los últimos 8 años y los años de inventario. Para el resto de los años la información se encuentra en el Anexo B, Cuadro B.2.4.

Cuadro 4.31 Uso de aceites y grasas en Costa Rica

Lubricante	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Grasas (ton)	84,1	98,4	135,4	146,8	74,2	93,4	56,6	102,9	128,0	313,6	211,6	202,2
Aceites (ton)	13781	16120	22574	22487	21892	21354	21720	22828	23052	23204	25057	24626

4.4.1.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

Se utilizó el mismo método y factores para la estimación de las emisiones de toda la serie temporal.

Incertidumbre

La estimación de la incertidumbre por medio del método de propagación para esta categoría se muestra en el cuadro 4.32 y se obtuvo un valor de 54 % de incertidumbre para las emisiones.

Cuadro 4.32 Estimación de la incertidumbre de las emisiones por uso de lubricantes

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre ($\pm\%$)	Justificación incertidumbre
ODU	50	Se utiliza el máximo valor por defecto.
Contenido de carbono	3	Se utiliza el factor por defecto
Incertidumbre Factor de emisión	50,09	
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre ($\pm\%$)	Justificación incertidumbre
Masa de lubricante	20	Se utiliza el máximo valor por defecto.
Poder calórico	3	Valor por defecto
Incertidumbre de la actividad	20,22	
Incertidumbre de las emisiones	54,0	

Similar a las otras categorías, se realizó por primera vez una estimación de la incertidumbre para el año 2017 utilizando el método de Monte Carlo, en donde se obtuvieron valores de $\pm 19,9\%$ siguiendo una distribución de probabilidad normal. Las consideraciones para esta simulación se muestran en el cuadro 4.33, mientras que el resultado se observa en la Figura 4.19.

Cuadro 4.33 Incertidumbres utilizadas en la simulación de Monte Carlo para las emisiones por uso de lubricantes

<i>Factor de Emisión</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre ($\pm\%$)	Justificación incertidumbre	Distribución
ODU	50	Se utiliza el máximo valor por defecto.	Normal
Contenido de carbono	3	Se utiliza el factor por defecto	Normal
<i>Actividad</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre ($\pm\%$)	Justificación incertidumbre	Distribución
Masa de lubricante	20	Se utiliza el máximo valor por defecto.	Normal
Poder calórico	3	Valor por defecto	Normal
Incertidumbre de las emisiones	19,9		Normal

4.4.1.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

A esta categoría se le hace una revisión de los factores utilizados; además, existen chequeos en las hojas de cálculo para evitar errores en las estimaciones.

4.4.1.5. RECÁLCULOS

Esta es una categoría que se incluyó a partir del INGEI 2015 para los años de inventario anteriores. Para el resto de la serie, se estiman por primera vez.

4.4.1.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

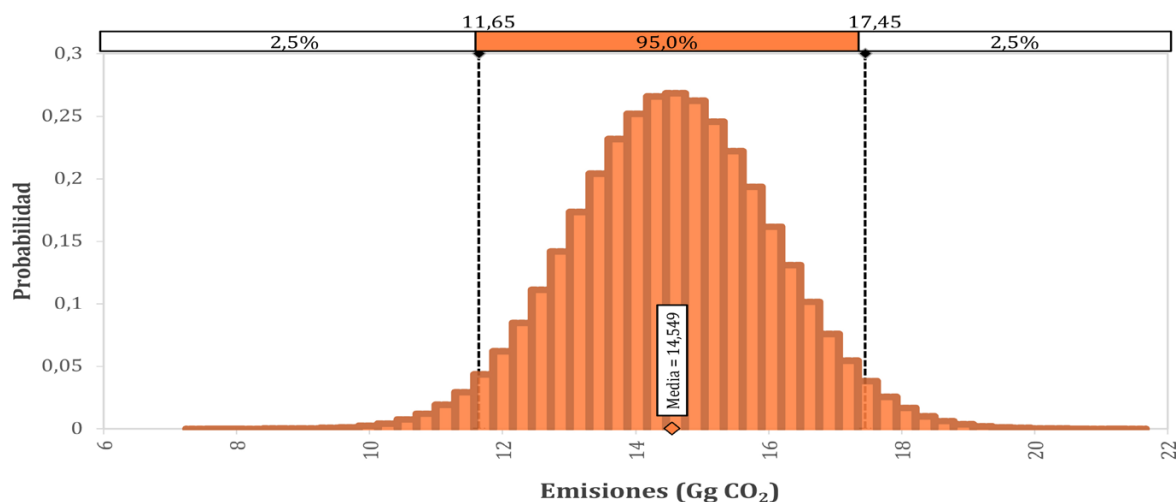


Figura 4.19 Histograma de la simulación de Monte Carlo para la estimación de incertidumbre de las emisiones por uso de lubricantes

4.4.2. Uso de ceras de parafina (2.D.2)

4.4.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

Durante el uso de materiales que contienen parafina se da una oxidación parcial de esta, resultando en emisiones de CO₂. Según las *Directrices del IPCC de 2006* las ceras de parafina se utilizan en velas, como recubrimiento de cajas, recubrimiento de papel, producción de alimentos, entre otros. Las emisiones resultantes para esta categoría en Costa Rica para el año 2017 fueron 1,57 Gg de CO₂. En el cuadro 4.34 se encuentran tabuladas las emisiones para años de inventario anteriores y los últimos 8 años.

Cuadro 4.34 Emisiones debidas al uso de ceras de parafina (2.D.2)

	Gas	Unidades	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Total	CO ₂	Gg	0,98	1,14	1,26	1,37	1,50	1,14	1,17	1,62	1,65	1,73	1,67	1,57

Como se observa en la Figura 4.20, las emisiones han crecido de manera sostenida para toda la serie temporal analizada, con excepción del 2011 y 2012 en donde hubo disminución de emisiones debido a disminución de importaciones; además, se alcanzó un máximo en el 2015. Las emisiones en el 2017 decrecieron un 6,2 % respecto al 2016, 9,5 % respecto al 2015 y desde el primer año contabilizado (1990) han aumentado 59,4 %.

Al igual que las categorías anteriores, en el cuadro 4.35 se muestra un resumen sobre la forma en que se estimaron las emisiones de esta categoría.

Cuadro 4.35 Información introductoria para la categoría 2.D.2

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1	EN	D

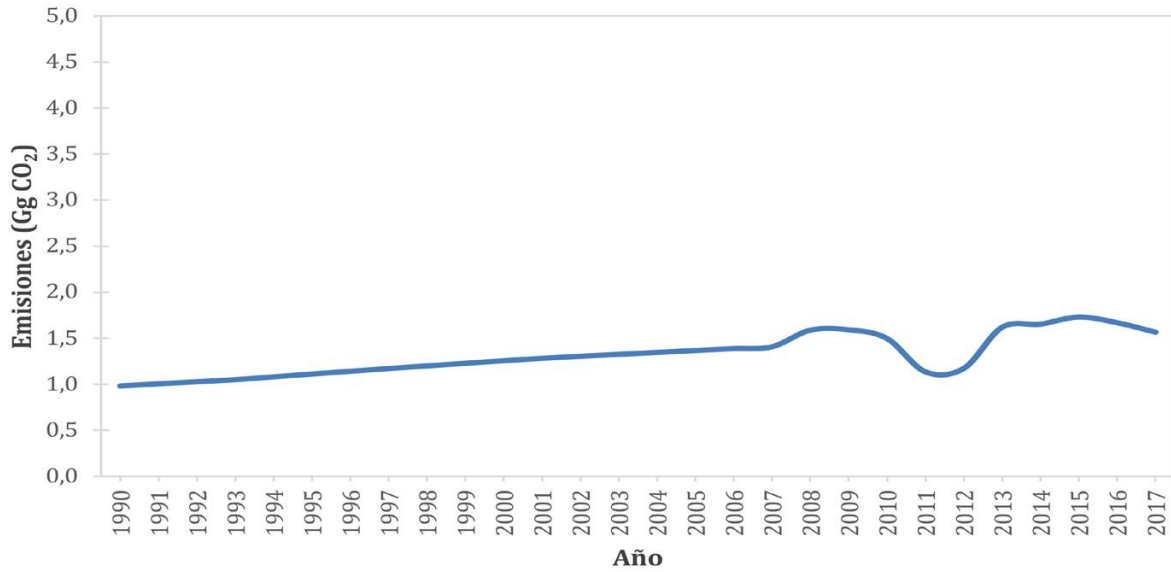


Figura 4.20. Emisiones de CO₂ debidas al uso de ceras de parafina

4.4.2.2. METODOLOGÍA

Debido a que únicamente se cuenta con el monto total de parafina, para esta categoría se empleó la metodología de Nivel 1 de las *Directrices del IPCC del 2006*. La estimación se realiza empleando la ecuación 4.13.

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \text{PW} \times \text{CC}_{\text{cera}} * \text{ODU}_{\text{cera}} * 44/12 \tag{4.13}$$

Donde:

PW= Consumo total de cera de parafina, TJ.

CC_{cera}= Contenido de carbono, ton Carbono/ TJ

ODU_{cera}= factor de oxidación durante uso de la parafina

Factor de emisión

Se utilizó el valor por defecto de las *Directrices del 2006 del IPCC* para el contenido de carbono (20 toneladas de carbono/ TJ) y 0,2 para la oxidación durante uso. Además, como los datos de actividad se obtienen en masa, se utilizan también los valores por defecto para el poder calórico neto (40,2 TJ/Gg). Esto resulta en un factor de emisión por defecto de 73,3 kg de CO₂ /GJ oxidado.

Dato de actividad

Los datos de actividad se basan en las importaciones y exportaciones de parafinas, específicamente, importaciones de velas, o materia prima para preparación de velas. Los datos fueron obtenidos del Ministerio de Hacienda. Se contó con información detallada del período 2008-2017, mientras que durante la revisión se observó que no se han consolidado bien las importaciones y exportaciones para el período 1990-2007, por lo que se utilizó el consumo promedio per cápita del período 2008-2017 para estimar los consumos de los años faltantes. Esto también justifica el crecimiento sostenido sin variaciones significativas en la Figura 4.20 para ese período. Los datos de actividad resultantes y obtenidos de los datos del Ministerio de Hacienda se encuentran en el

cuadro 4.36 para los últimos años y los años de inventario, mientras que para el resto de la serie se encuentran en el Anexo B, Cuadro B.2.5.

Cuadro 4.36 Consumo de parafina para estimar las emisiones de la categoría 2.D.2

Año	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo Parafinas (ton)	1666	1937	2130	2319	2539	1926	1989	2746	2805	2935	2831	2656

4.4.2.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

Se estimó toda la serie temporal utilizando la misma metodología.

Incertidumbre

Tal como se encuentra en el cuadro 4.37, la incertidumbre estimada con propagación de error para estas emisiones es de 102,1 %. Esto debido, principalmente, a que el factor ODU posee una incertidumbre muy elevada, la cual se obtuvo de las *Directrices del IPCC de 2006*.

Cuadro 4.37 Estimación de incertidumbre por propagación de error para el uso de ceras de parafina

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
ODU	100	Se utiliza el máximo valor por defecto.
Contenido de carbono	5	Se utiliza el factor por defecto
Incertidumbre Factor de emisión	100,12	
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Masa de cera de parafina	20	Se utiliza el máximo valor por defecto.
Poder calórico	3	Valor por defecto
Incertidumbre de la actividad	20,22	
Incertidumbre de las emisiones	102,1	

Cuadro 4.38. Incertidumbres utilizadas en la simulación de Monte Carlo para las emisiones por uso de parafina

<i>Factor de Emisión</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
ODU	100	Se utiliza el máximo valor por defecto.	Normal
Contenido de carbono	5	Se utiliza el factor por defecto	Normal
<i>Actividad</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
Masa de cera de parafina	20	Se utiliza el máximo valor por defecto.	Normal
Poder calórico	3	Valor por defecto	Normal
Incertidumbre de las emisiones	±20		Normal

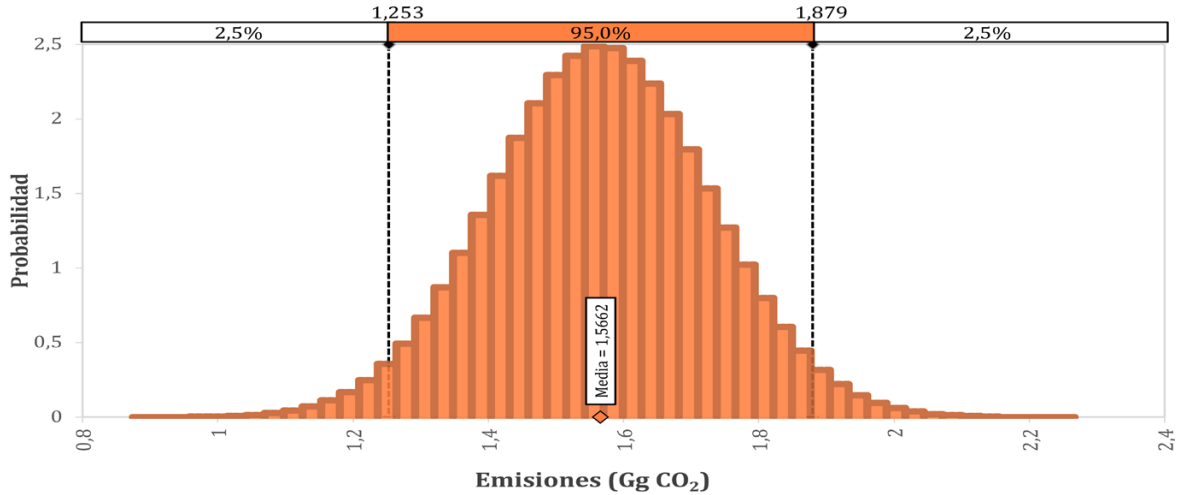


Figura 4.21 Estimación de Monte Carlo para las emisiones por el uso de parafina

También se realizó el análisis de Monte Carlo según las suposiciones que se muestran en el cuadro 4.38. Los valores a un 95 % de confianza se encuentran en la Figura 4.21, concluyendo que la incertidumbre por medio de este método es de $\pm 20\%$.

4.4.2.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

A esta categoría se le hace una revisión de los factores utilizados; además, existen chequeos en las hojas de cálculo para evitar errores en las estimaciones.

4.4.2.5. RECÁLCULOS

Esta es una categoría que se estimó por primera vez en el INGEI 2015 y únicamente para los inventarios de los años anteriores, por lo que es la primera vez que se presenta para la serie temporal completa 1990-2017.

4.4.2.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

4.5. Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono (2.F)

Esta es una de las categorías más importantes del sector IPPU de Costa Rica y abarca las emisiones de hidrofluorocarbonos (HFCs) en diferentes aplicaciones que se describirán, a continuación, con mayor detalle para las cuatro subcategorías estimadas en este inventario: refrigeración y aire acondicionado, aerosoles, protección contra incendios y otros usos de HFCs.

Es importante indicar que en el caso de las mezclas de refrigerantes como el R404a, R410b, R401b, R402b, R407, R407c, R422D, R507 entre otras han sido desagregadas y contabilizadas en sus componentes.

4.5.1. Refrigeración y aire acondicionado (2.F.1)

4.5.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

Las emisiones debidas a gases del tipo HFC en aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado se encuentran en el cuadro 4.39. Para el primer año de uso de estas sustancias en una mayoría de subaplicaciones, aunque también se estimaron las emisiones de aire acondicionado móvil a partir de 1995, esos datos se encuentran en el Anexo C, Cuadro C.2.9. Como se observa, para el año 2017 se emitieron 633,7 Gg de CO₂ eq. Las emisiones se dividieron en categorías: refrigeración, refrigeración móvil, chillers, aire acondicionado aire acondicionado móvil (desagregado por primera vez). Una mayor desagregación por tipo de refrigeración (doméstica, comercial e industrial) se puede encontrar en el Anexo C, Cuadro C.2.9.

En la Figura 4.22, se observa que las emisiones por refrigeración (276,6 Gg de CO₂ eq) son las que mayor contribuyeron en esta categoría en el 2017 con un 43,7 %, seguido por los aires acondicionados móviles con 30,9 %, la subaplicación que menos emisiones tuvo fue la de chillers³ con 2,5 %. En cuanto a las emisiones totales por tipo de gas, el que se emitió más por unidad de masa en el 2017 fue el 134a con más de 202 000 kg, seguido por el HFC-125 con 66 705 kg. Los datos para la serie completa se pueden consultar en el Anexo C, Cuadro C.2.9.

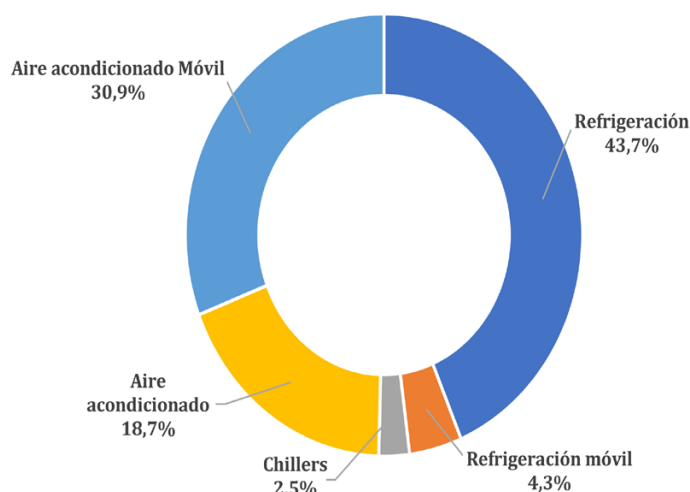


Figura 4.22 Distribución relativa de las emisiones de la categoría 2.F.1 por sub-aplicación en el 2017

Desde 1999 las emisiones en esta categoría se han multiplicado 28 veces, con respecto al 2015 hay un crecimiento de 6,1 %, mientras que en el último año crecieron 4,65 %.

Como se indicará más adelante, en este inventario los gases se encuentran por tipo de sustancia pura, por lo que las mezclas sí fueron tomadas en cuenta, pero han sido desagregadas por su composición, Esa es la razón que únicamente se muestran cinco gases, ejemplos de mezclas usadas en Costa Rica son el R-404a, R-410a, R-401b, R-402b, R-507, entre otras.

En la Figura 4.23 se observa la evolución de 1995 a 2017 de las emisiones en CO₂ eq para la categoría 2.F.1. Las variaciones en las emisiones se deben a cambios en las importaciones de equipos y gases refrigerantes, sí se observa un claro aumento en la tasa anual, esto debido al mayor uso con los años de estos compuestos en lugar de los controlados por el Protocolo de Montreal inicialmente. El aumento brusco en las emisiones en el 2014 se da porque, además de las emisiones de equipos instalados, hay liberación del remanente de los gases en los equipos que cumplieron su ciclo de vida (15 años). Para el 2015, se observa un descenso para luego continuar con un aumento sostenido hasta alcanzar el máximo en 2017.

3 Un chiller es una unidad o equipo utilizado para enfriar líquidos.

Cuadro 4.39 Emisiones debidas a la refrigeración y aire acondicionado (2.F.1)

Aplicación	Gas (kg)	1999	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Total Refrigeración	HFC-32	NO	NO	0,2	17,5	21,6	24,3	47,7	66,1	77,7	97,0	440,0
	HFC-125	NO	2181,6	3423,8	8061,4	9938,8	13546,0	17702,5	33333,2	26347,7	34060,0	29817,3
	HFC-134a	NO	2472,8	6279,4	14712,8	16818,5	18604,0	21951,1	40223,0	33588,3	35680,7	41087,8
	HFC-143a	NO	3710,1	4001,3	10103,6	12834,9	14296,4	18999,3	42928,2	28267,6	31860,3	36677,0
	HFC-152a	NO	NO	2,8	13,1	13,3	11,3	16,3	13,9	14,0	11,9	10,1
	HFC-23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2,1	4,7
	Total	NO	8364,5	13707,4	32908,4	39627,1	46481,9	58716,9	116564,5	88295,3	101712,0	108037,0
Total (Gg CO₂ eq)	NO	23,4	33,0	80,1	98,5	116,5	150,3	308,8	224,9	262,9	276,6	
Refrigeración móvil	HFC-32	NO	NO	0,0	0,0	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,0	0,1
	HFC-125	NO	412,3	253,5	851,1	631,4	1319,4	1936,9	2577,8	5269,4	2285,0	2930,8
	HFC-134a	NO	54,7	62,9	84,8	146,4	184,5	184,8	273,4	456,1	404,9	313,1
	HFC-143a	NO	754,7	371,0	533,1	1175,8	1330,4	2319,1	3033,9	5632,2	4884,0	4862,4
	Total (kg)	NO	1221,7	687,4	1469,0	1953,7	2834,3	4441,0	5885,3	11358,0	7573,9	8106,3
Total (Gg CO₂ eq)	NO	4,1	2,2	4,5	6,4	9,0	14,5	19,1	36,7	25,5	27,1	
Chillers	HFC-32	NO	NO	0,9	95,2	117,1	132,2	210,7	357,0	465,1	683,4	736,6
	HFC-125	NO	80,2	136,0	319,3	391,4	528,2	658,2	890,1	1201,2	1421,8	1440,9
	HFC-134a	NO	545,6	1368,5	3184,3	3635,4	4013,9	4542,5	5311,0	5675,4	6771,3	6989,0
	HFC-143a	NO	62,1	82,4	185,3	232,1	258,6	333,4	440,5	472,2	570,0	574,7
	HFC-23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total (kg)	NO	687,9	1587,8	3784,1	4376,0	4932,9	5744,8	6998,5	7813,8	9446,5	9741,1	
Total (Gg CO₂ eq)	NO	1,2	2,5	5,8	6,8	7,8	9,2	11,3	12,8	15,4	15,8	
Aire acondicionado	HFC-32	NO	NO	27,1	3067,1	3780,9	4322,5	8081,1	11005,6	16452,0	20615,1	27367,5
	HFC-125	NO	1265,5	2520,5	6001,9	7293,8	9649,6	13089,1	15813,2	21196,9	25358,0	32516,9
	HFC-134a	NO	124,2	354,2	855,6	981,4	1093,5	1266,9	1445,0	1862,0	2705,0	3176,9
	HFC-143a	NO	117,1	158,7	401,2	501,8	567,3	722,5	949,6	1305,2	1511,9	1463,7
	Total (kg)	NO	1506,7	3060,4	10325,8	12557,9	15632,9	23159,6	29213,4	40816,1	50190,0	64524,9
Total (Gg CO₂ eq)	NO	4,1	8,1	21,4	26,1	33,4	46,3	56,9	77,4	93,7	118,5	
Aire acondicionado Móvil	HFC-134a	13172,0	24142,5	45413,4	99623,8	100774,3	113025,2	129267,8	138426,2	189099,8	160004,0	150488,9
	Total (kg)	13172,0	24142,5	45413,4	99623,8	100774,3	113025,2	129267,8	138426,2	189099,8	160004,0	150488,9
	Total (Gg CO₂ eq)	17,1	31,4	59,0	129,5	131,0	146,9	168,0	180,0	245,8	208,0	195,6
Total	HFC-32	NO	NO	28,2	3179,8	3919,6	4479,0	8339,7	11428,8	16995,1	21395,5	28544,2
	HFC-125	463,0	3939,6	6333,8	15233,6	18255,4	25043,2	33386,7	52614,3	54015,2	63124,8	66705,9
	HFC-134a	13676,2	27339,8	53478,2	118461,2	122356,0	136921,1	157213,0	185678,6	230681,5	205565,9	202055,6
	HFC-143a	686,3	4643,9	4613,4	11223,2	14744,7	16452,6	22374,3	47352,3	35677,2	38826,2	43577,7
	HFC-152a	NO	NO	2,8	13,1	13,3	11,3	16,3	13,9	14,0	11,9	10,1
	HFC-23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2,1	4,7
	Total (kg)	14825,5	35923,2	64456,4	148111,1	159288,9	182907,2	221330,1	297088,0	337383,0	328926,3	340898,2
	Total (Gg CO₂ eq)	21,7	64,2	104,8	241,4	268,8	313,5	388,3	576,1	597,7	605,5	633,7

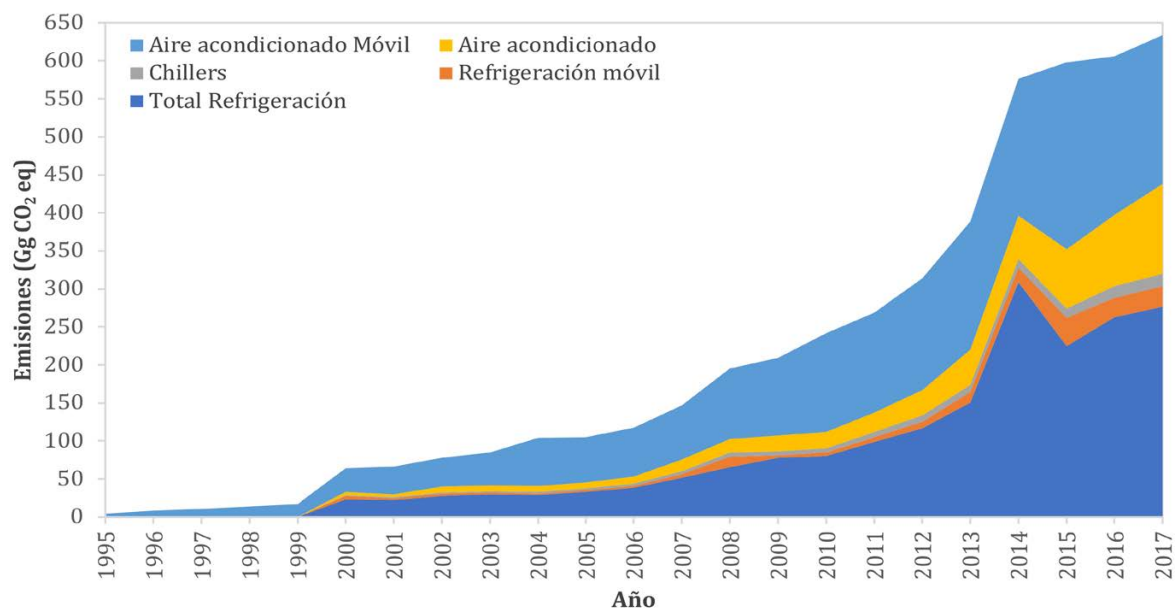


Figura 4.23 Histórico de emisiones debidas a la refrigeración y aire acondicionado

El método de estimación de emisiones de la categoría 2.F.1 es el más complejo del sector IPPU de Costa Rica. En el cuadro 4.40 se muestran las principales consideraciones para la estimación.

Cuadro 4.40 Información introductoria para la categoría 2.F.1

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
HFC	Nivel 2a	EN	D, CS

4.5.1.2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada es la de Nivel 2, enfoque a, de las *Directrices del IPCC de 2006* y detallado en el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, la cual consiste en las siguientes ecuaciones y es aplicada por tipo de gas y subaplicación.

$$E_{Total,t} = E_{contenedores,t} + E_{carga,t} + E_{uso,t} + E_{fin\ de\ vida\ útil,t} \tag{4.14}$$

Donde:

$E_{contenedores}$ = Emisiones debidas al manejo de contenedores de refrigerantes.

E_{carga} = Emisiones debidas al proceso de carga de refrigerantes: conexión y desconexión del contenedor y el equipo nuevo que se carga.

E_{uso} = Emisiones anuales de los bancos de refrigerantes por subaplicación durante la operación (ruptura y fugas) y servicio.

$E_{fin\ de\ vida\ útil}$ = Emisiones durante la eliminación de los equipos.

t = año de inventario.

Manejo de contenedores

De acuerdo con el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*, las emisiones debidas al manejo de contenedores son las relacionadas a la transferencia de refrigerante de grandes contenedores (generalmente 40 toneladas) a recipientes más pequeños que van desde 0,5 kg hasta 1 tonelada. Este tipo de emisiones no ocurren en Costa Rica debido a que no hay producción y lo importado en recipientes corresponde a recipientes pequeños.

Carga de nuevo equipo

Aunque en el pasado existió fabricación de equipos la cantidad es insignificante comparada al resto del mercado, por lo que estas emisiones no se contabilizan en el país.

Emisiones durante uso del equipo

En este apartado se contabilizan las emisiones fugitivas que representan las fugas anuales del banco de refrigerantes por ejemplo fugas en juntas, sellos, rupturas de tuberías; además, se contabilizan las emisiones por el mantenimiento y recarga de equipos. Estas emisiones también se contabilizan por subaplicación siguiendo la fórmula de cálculo de la ecuación 4.15.

$$E_{\text{uso},t} = B_t * \frac{x}{100} \quad (4.15)$$

Donde:

B_t = gas total contenido en los equipos en el año t, por subaplicación, kg de gas.

x = Tasa anual de emisión de gas durante la operación por subaplicación, porcentaje.

Emisiones de fin de vida útil

Al final de la vida útil de los equipos de refrigeración y aire acondicionado aún queda gas contenido en los equipos, parte o la totalidad de este gas es recuperado o liberado a la atmósfera. La ecuación para estimar estas emisiones es la siguiente:

$$E_{\text{fin de vida útil},t} = M_{t-d} * \frac{p}{100} * \left(1 - \frac{\eta_{\text{rec},d}}{100}\right) \quad (4.16)$$

Donde:

M_{t-d} = cantidad de HFC cargado inicialmente en los sistemas instalados en el año (t-d), kg de gas.

p = carga residual de HFC en el equipo que sale de operación, porcentaje de la carga total.

$\eta_{\text{rec},d}$ =Eficiencia de recuperación en el momento de la disposición, relación entre HFC recuperado y HFC contenido en el sistema, porcentaje.

Se debe indicar que es la primera vez que se aplica este método en el INGEI, pasando de una Nivel 1, enfoque a/b a un Nivel 2 enfoque a.

Factores del modelo aplicados

Se contabilizaron las emisiones de las seis subaplicaciones indicadas en las *Directrices del IPCC de 2006* y en el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. En el cuadro 4.41 se detallan los factores aplicados por subaplicación en este inventario, excepto por la carga de los equipos. Los otros valores utilizados son parámetros por defecto.

Para el caso de Costa Rica, al no existir evidencia técnica de la recuperación de gas en el período que comprende este inventario se considera que todo ese gas remanente se libera a la

atmósfera una vez que el equipo cumple la vida útil. Por eso el calor de eficiencia de recuperación es cero; además, como una estimación conservadora, se consideró que el remanente (p) corresponde al 100 % de la carga.

Cuadro 4.41 Factores utilizados en la estimación de la categoría 2.F.1

Subaplicación	Carga (kg)	Tiempo de vida útil (años)	Pérdidas anuales por operación (%)	Eficiencia de recuperación (%)	Carga inicial remanente (%)
Factor en ecuaciones	M	d	x	$\alpha_{rec, d}$	p
Refrigeración doméstica	EE	20	0,5	0	100
Refrigeración comercial	EE	15	15	0	100
Refrigeración industrial	EE	30	25	0	100
Refrigeración móvil	EE	9	50	0	100
Chillers	EE	30	15	0	100
Aire acondicionado	EE	20	10	0	100
Aire acondicionado Móvil	1,25*	16	20	0	100

Nota: EE = específico de equipo

*Valor tomado del *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*

Dato de actividad

Los datos de actividad consisten en los gases contenidos en equipos y en cilindros para recargas importados al país que, se obtienen del Ministerio de Hacienda. Los datos de actividad se encuentran desagregados por detalle de equipo importado o tipo de gas en cilindro importado para el período 2012-2015. Para los años desde 1999 que fue cuando se reportó el primer ingreso de estos gases a 2011 se tiene el total por tipo de gas importado en cilindros por lo que a ese período se le aplicó el promedio de distribución por subaplicación del 2012-2015. Cada equipo viene con la cantidad de gas que contiene.

En el caso de los aires acondicionados móviles, para estimar el gas que ingresa en vehículos de manera anual, se estima con las importaciones de automóviles livianos y de carga liviana y se utiliza el valor de 1,25 kg de gas de carga por vehículo, valor por defecto del *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Por recomendación de expertos nacionales tomada de Moie (2019) se consideró que un 60 % de los vehículos livianos y un 30 % de los vehículos de carga liviana tienen aire acondicionado.

Los datos de actividad en detalle, por subaplicación y gas se encuentran en el Anexo B, Cuadro B.2.6.

4.5.1.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

La misma metodología es aplicada a todo el período analizado.

Incertidumbre

Se estimó la incertidumbre por medio de propagación de error, en donde se obtuvo una incertidumbre del 52,2 %, tal como se muestra en el cuadro 4.42.

Cuadro 4.42 Incertidumbre por propagación de error para las emisiones por refrigeración y aire acondicionado

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Incertidumbre Factor de emisión	50,0	Máximo por defecto
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Incertidumbre de la actividad	15,0	Máximo por defecto ya que son totales nacionales
Incertidumbre de las emisiones	52,2	

También se realizó la estimación utilizando una simulación de Monte Carlo, los supuestos utilizados se muestran en el cuadro 4.43. Como resultado, se puede afirmar con un 95 % de confianza que las emisiones se encuentran entre 597,1 Gg CO₂ eq y 812,4 Gg CO₂ eq, tal como se muestra en la Figura 4.24.

Cuadro 4.43 Consideraciones de la simulación de Monte Carlo para las emisiones por refrigeración y aire acondicionado

<i>Factor de Emisión</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
Incertidumbre Factor de emisión	50,0	Máximo por defecto	Normal
<i>Actividad</i>			
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre	Distribución
Incertidumbre de la actividad	15,0	Máximo por defecto ya que son totales nacionales	Normal

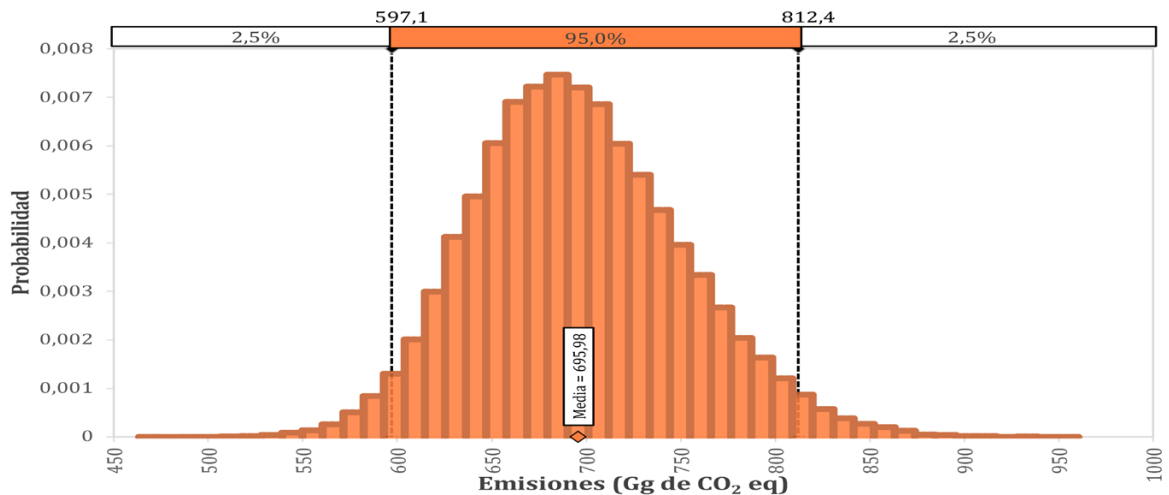


Figura 4.24 Monte Carlo para las emisiones debidas a la refrigeración y aire acondicionado

4.5.1.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Se hacen chequeos del factor de emisión y de los datos de actividad en las hojas de cálculo utilizadas.

4.5.1.5. RECÁLCULOS

En el país, los primeros datos sobre esta categoría se reportaron en los INGEI de los años 2000 y 2005. En ese momento se reportaron emisiones potenciales siguiendo lo establecido en las *Directrices del IPCC de 1996*, estas emisiones eran de 43,3 toneladas de HFCs para el 2000, y 120,57 toneladas de HFCs para el 2005, las cuales no pueden ser comparables con las emisiones reales ya que consideraban que todo el gas que ingresó en un año tiene posibilidad de liberarse en ese mismo año. Para los siguientes inventarios, 2010, 2012 y 2015, las emisiones se estimaron siguiendo un Nivel 1, enfoque a/b de la *Directrices del IPCC de 2006*, el cual usa datos de actividad y factores de manera agregada. En el INGEI 2015 se habían realizado cambios, principalmente, en datos de actividad, por ejemplo: para el año 2010, se agregaron algunos datos de actividad que no habían sido incluidos por lo que las emisiones recalculadas eran 29 % mayores y, para el 2012, se hicieron algunos ajustes en los datos de actividad, pero no representaban una variación importante. Esos recálculos realizados presentados en el INGEI 2015 se muestran en la Figura 4.25.

Como se ha indicado, Costa Rica cuenta con buena información en cuanto a las sustancias sustitutas de las SAO que ingresan al país tanto en cilindros como en equipos. Por lo que para este inventario se reporta un cambio en el nivel de estimación a Nivel 2 de las *Directrices del IPCC de 2006* y detallado en el *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Sin embargo, al cambiar de nivel metodológico, se recalcularon nuevamente todos los años de inventario anterior, las diferencias entre ambos métodos se detallan en el cuadro 4.44 y los resultados de los recálculos se muestran en la Figura 4.26.

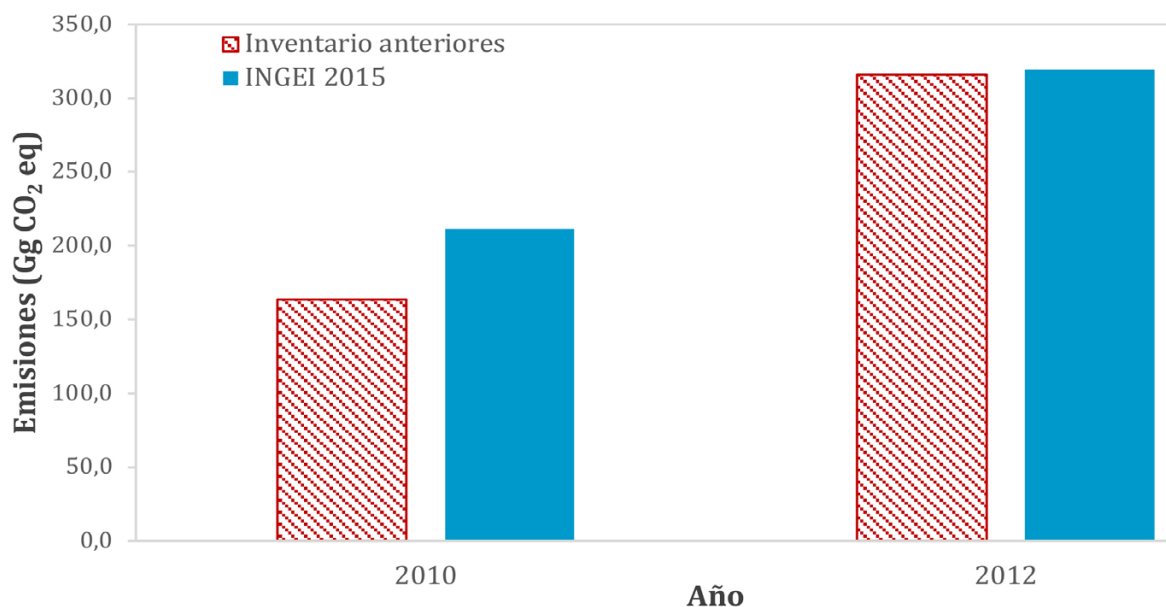


Figura 4.25 Recálculos incluidos en el INGEI 2015 de las emisiones de refrigeración y aire acondicionado

Cuadro 4.44 Supuestos de la estimación de emisiones de la categoría 2.F.1 en el INGEI 2015 e INGEI 2017

INGEI 2015 (Nivel 1)	INGEI 2017 (Nivel 2)
<ul style="list-style-type: none"> - Datos de actividad agregados. - Factor de emisión general del 15 % anual. - Vida útil general de 15 años. - Todo el R134a importado en cilindros se encontraba agregado en aires acondicionados. - No se consideraba el R134a contenido en vehículos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de actividad desagregados en 7 subcategorías. - Factores de emisión por etapas y por subaplicación (ver Cuadro 40). - Vida útil por subaplicación (ver Cuadro 40) - Se desagregó el R134a importado en cilindros utilizado para recargas de aires acondicionados móviles. - Se incluyó el R134a contenido en vehículos

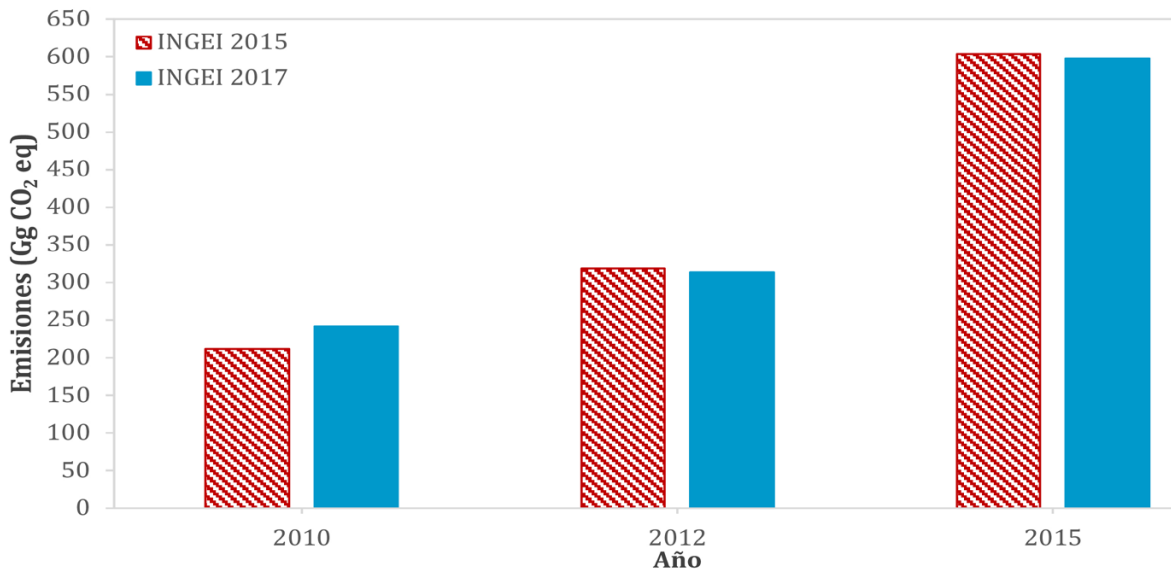


Figura 4.26 Recálculos de la categoría 2.F.1

Como se observa, las diferencias en los recálculos no son significativas para 2012 y 2015, debido a que, aunque los datos de actividad fueron mayores al incorporar los gases contenidos en vehículos, los factores de emisión fueron menores. Para el 2010, se nota una diferencia de 14,2 % debido a que ese año hubo un aumento en las emisiones debidas a aires acondicionados móviles.

4.5.1.6. PLAN DE MEJORA

No se tiene prevista una mejora significativa en esta categoría en el corto plazo.

4.5.2. Protección contra incendios (2.F.3)

4.5.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

Existen sistemas de protección contra incendio que utilizan gases HFC's y PFC's. En esta categoría se contabilizan las emisiones debidas a las fugas, uso y durante la disposición final de equipos que contienen estos gases. En el caso de Costa Rica se han contabilizado aplicaciones que utilizan HFC 125 para estos propósitos.

Las emisiones en el año 2017 fueron de 0,58 Gg de CO₂ eq. Tal como se muestra en el cuadro 4.45, este tipo de sustancias se introdujeron al país en 1999 en donde las emisiones eran más de 16 veces menores.

Cuadro 4.45 Emisiones en sistemas de protección contra incendios (2.F.3)

Año	1999	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-125 (kg)	12,05	12,36	33,14	87,28	113,17	165,36	202,85	500,97	221,39	472,51	207,55
Gg CO ₂ eq	0,034	0,035	0,093	0,244	0,317	0,463	0,568	1,403	0,620	1,323	0,581

En la Figura 4.27 se muestra la tendencia completa de las emisiones de 1999 al 2017, en donde se observa que el máximo de emisiones fue en 2014 con 1,403 Gg de CO₂ eq. Esto se debe a que en ese año se da la liberación de los gases contenidos en los equipos remanentes de 1999, el aumento en 2016 se debe a un aumento en la importación de estos equipos.

Los datos introductorios de esta categoría se encuentran en el cuadro 4.46.

Cuadro 4.46 Información introductoria para la categoría 2.F.3

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
HFC	Nivel 1	EN	D

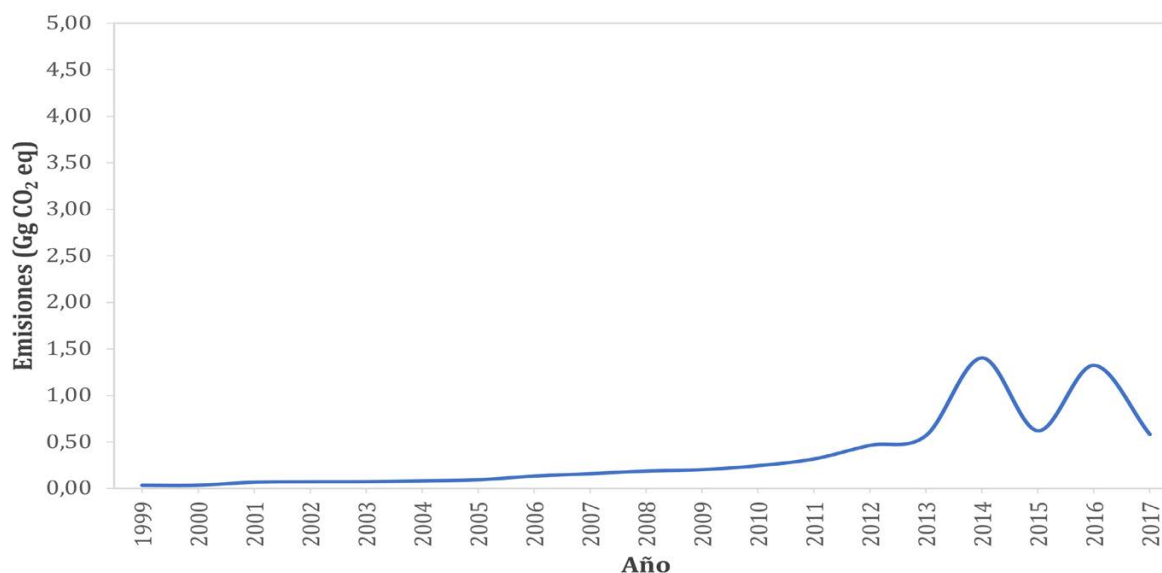


Figura 4.27 Histórico de emisiones debidas a los sistemas de protección contra incendios

4.5.2.2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada es la de Nivel 1, enfoque a/b, de las *Directrices del IPCC de 2006* la cual consiste en las siguientes ecuaciones y es aplicada por tipo de gas.

$$E_{\text{Total},t} = E_{\text{Banco},t} + E_{\text{fin de vida útil},t} \quad (4.17)$$

Donde:

E_{Banco} = Emisiones debidas a los gases contenidos en los equipos.

$E_{\text{fin de vida útil}}$ = Emisiones durante la eliminación de los equipos.

t = año de inventario.

$$E_{\text{Banco},t} = \text{Banco}, t * FE \tag{4.18}$$

Donde:

Banco, t = gas total contenido en los equipos en el año t, toneladas de gas.

FE = Fuga anual de gas de los equipos, factor de emisión, adimensional.

$$\text{Banco}, t = \text{Banco}, t - 1 + \text{Importaciones} + \text{Producción} - \text{Exportaciones} \tag{4.19}$$

Donde:

Banco, t-1 = gas total contenido en los equipos en el año t-1, toneladas de gas.

Factor de emisión

El factor de emisión utilizado es de 4 % para todos los equipos utilizados en extinción contra incendios, el cual es un valor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*. Se toma; además, un valor de vida útil por defecto de 15 años y se considera que todo el gas remanente al final de ese período es liberado, sin ninguna fracción de recuperación ni de destrucción.

Dato de actividad

Los datos de actividad consisten en los gases contenidos en sistemas de protección contra incendios y en cilindros para recargas importados al país que se obtienen del Ministerio de Hacienda. Los datos de actividad se encuentran desagregados por detalle de equipo importado o gas en cilindro importado para el período 2012-2017. Para los años desde 1999 (año en que se reportó el primer ingreso de estos gases) a 2011 se tiene el total por tipo de gas importado por lo que a ese período se le aplicó el promedio de distribución del 2012-2015. Los datos de actividad para los años anteriores de inventario y para los últimos 8 años se encuentran en el cuadro 4.47, mientras que para la serie completa se encuentran en el Anexo B, Cuadro B.2.7.

Cuadro 4.47 Datos de actividad para las emisiones de protección contra incendios (2.F.3)

Año	1999	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-125 (ton)	0,301	0,020	0,129	0,450	0,735	1,418	1,103	0,714	0,000	0,000	0,005

4.5.2.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

Se aplica el mismo método a toda la serie temporal.

Incertidumbre

La incertidumbre estimada por propagación tiene los mismos supuestos que para la categoría 2.F.1 y mostrados en el cuadro 4.42, por lo que la incertidumbre es de 52,2 %.

4.5.2.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Estas emisiones son verificadas con la Oficina de Ozono de la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental del MINAE. Además, se hacen chequeos del factor de emisión y de los datos de actividad en las hojas de cálculo utilizadas.

4.5.2.5. RECÁLCULOS

El único año en el que se reportaron emisiones en esta categoría fue en 2010 (3,03 Gg CO₂ eq). Las emisiones se habían sobreestimado ya que en este inventario se están reportando 0,317 Gg de CO₂ eq, debido a que se realizó una revisión detallada de los datos de actividad.

4.5.2.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

4.5.3. Aerosoles (2.F.4)

4.5.3.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En algunas ocasiones los HFCs y PFCs son utilizados en aerosoles, tal como lo indican las *Directrices del IPCC del 2006*. Estas emisiones ocurren en períodos cortos de tiempo después de la producción.

Para este inventario se logró rastrear el HFC-152a utilizado en aerosoles. Las emisiones se encuentran en el cuadro 4.48, en donde alcanzaron 1613 kg de gas o 0,226 Gg de CO₂ eq. El primer año del que se tiene registro de importaciones de HFC 152a para este propósito es el año 2004, cuando se emitieron 383 kg del gas.

Cuadro 4.48 Emisiones debidas al consumo de aerosoles (2.F.4)

Año	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-152a (kg)	383,03	641,30	764,70	289,40	342,86	1648,93	2870,43	2338,71	2391,45	1613,10
Gg CO ₂ eq	0,054	0,090	0,107	0,041	0,048	0,231	0,402	0,327	0,335	0,226

La serie completa del 2004 al 2017 se muestra en la Figura 4.28, en donde las variaciones se deben únicamente a los cambios en las importaciones del gas.

Figura 4.28 Histórico de emisiones debidas al uso de aerosoles

Los datos introductorios de esta categoría se encuentran en el cuadro 4.49.

Cuadro 4.49 Información introductoria para la categoría 2.F.4

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
HFC	Nivel 1	EN	D

4.5.3.2. METODOLOGÍA

Tal como se indicó, las emisiones en este caso se consideran rápidas, por lo que la liberación se da dentro del primer y segundo año después de la fabricación y en 6 meses después de su venta según las *Directrices del IPCC de 2016*. Considerando lo anterior, se utiliza la ecuación 4.20 para estimar las emisiones.

$$\text{Emisiones}_t = S_t * EF + S_{t-1} * (1 - EF) \tag{4.20}$$

Donde:

S_t = Cantidad de HFC confinada en los productos con aerosol vendidos en el año t, toneladas.

S_{t-1} = Cantidad de HFC confinada en los productos con aerosol vendidos en el año t-1, toneladas.

EF= Factor de emisión, fracción.

Se utilizan los datos totales nacionales, por lo que se considera un Nivel 1a.

Factor de emisión

Se utilizó un factor por defecto de 50 % de la carga inicial, por lo que se supone que la mitad se libera el primer año y la otra mitad el segundo año.

Dato de actividad

Los datos de actividad consisten en las importaciones de aerosoles que contengan HFC. Las identificadas consistieron en aerosoles fabricados con 100 % de HFC-152a, se tiene registro completo de las importaciones para el período 2012-2017, para el período anterior (2004-2011) se aplicó la proporción de HFC-152a importado como aerosol. El 2004 fue el primer registro de importación de este gas en latas o cilindros. Los datos de actividad para esta categoría se encuentran tabulados en el cuadro 4.50 para toda la serie temporal.

Cuadro 4.50 Datos de actividad para la categoría 2.F.4

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Importaciones (ton)	0,766	0,517	1,237	0,899	0,693	0,958	0,571	0,008	0,678	2,620	3,121	1,557	3,226	NO

4.5.3.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

Se aplicó el mismo factor a toda la serie temporal. Los datos de actividad recibieron el mismo tratamiento.

Incertidumbre

La incertidumbre estimada con propagación de error fue de 141 %, considerando un 100% de incertidumbre para el factor de emisión y el mismo valor para el dato de actividad.

4.5.3.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Estas emisiones son verificadas con la Oficina de Ozono de la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental del MINAE. Además, se hacen chequeos del factor de emisión y de los datos de actividad en las hojas de cálculo utilizadas

4.5.3.5. RECÁLCULOS

Los únicos años en los que se reportaron emisiones en esta categoría fueron 2010 (1,62 Gg CO₂ eq) las cuales se habían sobreestimado ya que en este inventario se están reportando 0,041 Gg de CO₂ eq. Esto se debe a que se realizó una revisión detallada de los datos de actividad y el año 2015, cuyo valor no presenta recálculos.

4.5.3.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

4.5.4. Otras aplicaciones: Procesos de transferencia de flúor a vidrio (2.F.6)

4.5.4.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

En algunas ocasiones los HFC's son utilizados en aplicaciones diferentes a las descritas en este inventario, tal como lo indican las *Directrices del IPCC del 2006*, estas emisiones deben ser contabilizadas dentro de la categoría 2.F.6.

En Costa Rica se importa el HFC-152a para ser utilizado en procesos de transferencia de fluor al vidrio, brindándole mejoras en algunas de sus propiedades mecánicas. Las emisiones debidas a este proceso se reportan por primera vez en este inventario y se encuentran en el cuadro 4.51, en donde alcanzaron en 2017 14102 kg de gas o 1,974 Gg de CO₂ eq. El primer año del que se tiene registro de importaciones de HFC 152a para este propósito es el 2004, cuando se emitieron 9329 kg del gas.

Cuadro 4.51 Emisiones debidas al consumo de HFC en otras aplicaciones (2.F.6)

Año	2004	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-152a (kg)	9329	15619	18625	7049	11341	36347	33189	25231	24470	14102
Gg CO ₂ eq	1,306	2,187	2,608	0,987	1,588	5,089	4,646	3,532	3,426	1,974

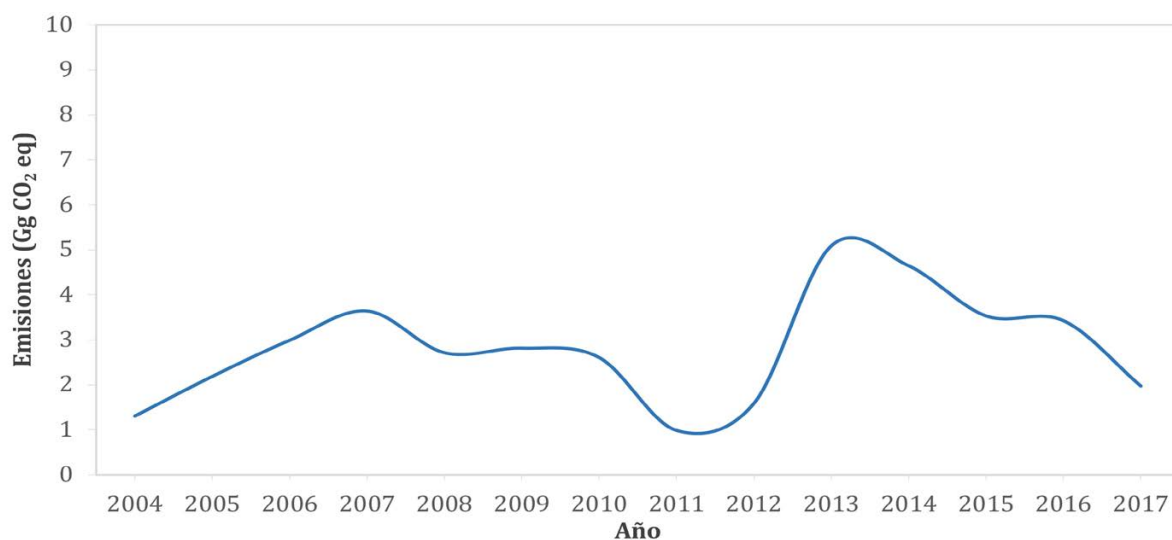


Figura 4.29 Histórico de emisiones debidas al uso HFC en otras aplicaciones

La serie completa del 2004 al 2017 se muestra en la Figura 4.29, en donde las variaciones se deben únicamente a los cambios en las importaciones del gas.

Los datos introductorios de esta categoría se encuentran en el cuadro 4.52.

Cuadro 4.52 Información introductoria para la categoría 2.F.6

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
HFC	Nivel 1 (Modificado de otra categoría)	EN	D

4.5.4.2. METODOLOGÍA

Debido a que las emisiones que se pueden cuantificar dentro de esta categoría pueden provenir de fuentes muy distintas, ni las *Directrices del IPCC de 2006* ni el *Refinamiento del 2019 del IPCC* poseen una metodología específica para cuantificar estas emisiones ni de las emisiones específicas de los procesos de fluoración utilizando HFCs.

Las *Directrices del IPCC de 2006* mencionan en otras categorías, como la 2.G.2c Uso del SF₆ y de los PFC en otros productos, procesos de transferencia de fluor a fibras de vidrio y las cataloga como emisiones rápidas. Por lo que ocurren entre el primer y segundo año en el que el gas se adquiere, es por eso que tomando como referencia esa metodología, se considera el dipado del vidrio con fluor a partir de HFC como un proceso de emisiones rápidas también, en ese caso se utiliza la ecuación 4.21 para estimar las emisiones.

$$\text{Emisiones}_t = CV_t * EF + CV_{t-1} * (1 - EF) \tag{4.21}$$

Donde:

CV_t= Cantidad de HFC confinada en los cilindros vendidos en el año t, toneladas.

S_{t-1}= Cantidad de HFC confinada en los cilindros vendidos en el año t-1, toneladas.

EF= Factor de emisión, fracción.

Factor de emisión

Se utilizó un factor de 50 % de la carga inicial, por lo que se supone que la mitad se libera el primer año y la otra mitad el segundo año.

Dato de actividad

Los datos de actividad consisten en las importaciones de cilindros que contengan HFC-152a. Se tiene registro completo de las importaciones para el período completo 2004-2017. Los datos de actividad se encuentran en el cuadro 4.53.

Cuadro 4.53 Datos de actividad para la categoría 2.F.6

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Importaciones (ton)	18,658	12,581	30,132	21,895	16,887	23,343	13,907	0,190	22,492	50,203	16,174	34,289	14,652	13,551

4.5.4.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

Se aplicó el mismo factor a toda la serie temporal. Los datos de actividad recibieron el mismo tratamiento.

Incertidumbre

La incertidumbre estimada con propagación de error fue de 141 %, considerando un 100% de incertidumbre para el factor de emisión y el mismo valor para el dato de actividad.

4.5.4.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Estas emisiones son verificadas con la Oficina de Ozono de la Dirección de Gestión de Calidad Ambiental del MINAE. Además, se hacen chequeos del factor de emisión y de los datos de actividad en las hojas de cálculo utilizadas.

4.5.4.5. RECÁLCULOS

Esta es una categoría nueva, por lo que no se presentan recálculos.

4.5.4.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

4.6. Manufactura y uso de otros productos (2.G)

4.6.1. Uso de SF₆ en equipos eléctricos (2.G.1b)

4.6.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA CATEGORÍA

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, el hexafluoruro de azufre (SF₆) se emplea como aislante eléctrico y para interrumpir la corriente en los equipos utilizados en la transmisión y distribución de electricidad. La mayor parte del SF₆ utilizado en los equipos eléctricos se emplea en conmutadores y subestaciones con aislación de gas (GIS, del inglés, Gas-Insulated Substations) y en los disyuntores a gas (GCB, del inglés, Gas Circuit Breakers), aunque parte del SF₆ se emplea en líneas de alta tensión con aislación de gas (GIL, del inglés, GasInsulated Lines), en transformadores para aparatos de medida externos con aislación de gas y en otros equipos.

En Costa Rica, el hexafluoruro de azufre se utiliza en equipos eléctricos como aislante en cajas de interruptores en sistemas de transmisión y distribución eléctrica. En el cuadro 4.54 se reportan las emisiones debidas al SF₆, para el año 2017 correspondieron a 0,392 Gg de CO₂ eq. En el periodo de 1990-2013, se muestra un aumento progresivo de las emisiones, mientras que, en 2014, se da una disminución importante que se debe únicamente a una reducción en la sustitución de hexafluoruro de azufre para ese año. Las emisiones disminuyeron 71,2 % entre 2016 y 2017, mientras que con respecto al 2015, hay una disminución del 80 %. Con respecto a 1990 las emisiones en 2017 son 37,6 % menores. La tendencia de general se observa en la Figura 4.30.

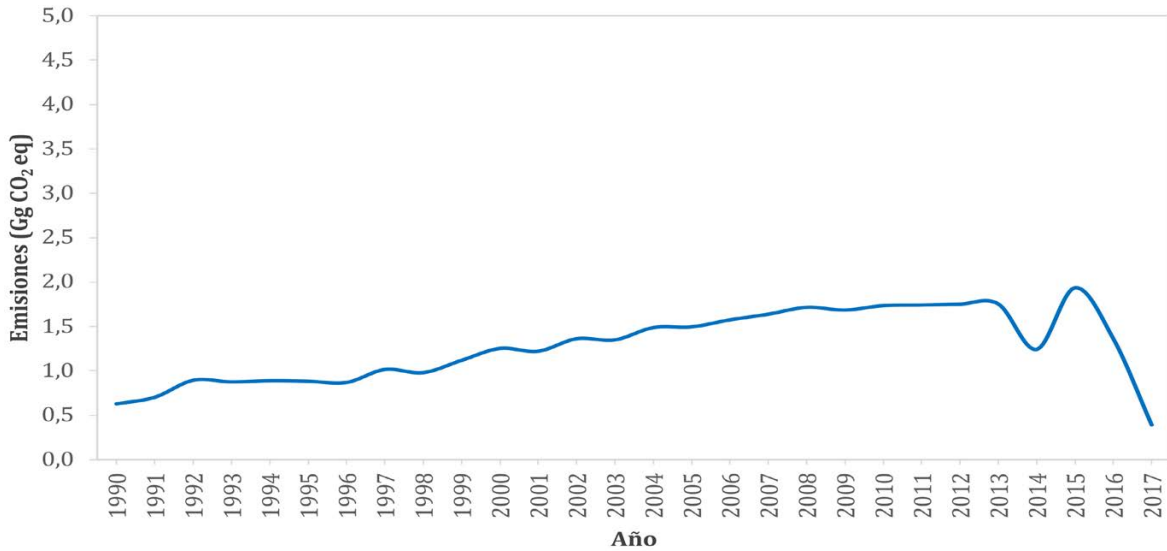


Figura 4.30 Histórico de emisiones debidas al uso de SF₆

Cuadro 4.54 Emisiones debidas al uso de SF₆ en equipos eléctricos (2.G.1b)

Gas	Unidades	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
SF ₆	kg	26,3	36,4	52,4	62,6	72,6	72,9	73,3	73,4	52,0	81,0	57,0	16,4
CO ₂ eq	Gg	0,628	0,869	1,253	1,496	1,735	1,742	1,752	1,754	1,243	1,936	1,362	0,392

4.6.1.2. METODOLOGÍA

Las fugas de SF₆ en los sistemas de transmisión y distribución se estiman directamente, ya que el ICE contabiliza la reposición de SF₆ de los sistemas, toda esta reposición se considera como fuga ya que no existe recuperación y reciclado del gas.

Dato de actividad

Los datos de reposición se tienen para el período comprendido entre 2010-2017. Para determinar las reposiciones de gas en el período 1990-2009 se utilizó una interpolación de datos tomando en cuenta, solamente, las reposiciones de 2010 a 2013 y la generación eléctrica del período 1990-2013. No se tomaron en cuenta los datos de 2014 y 2015 ya que en estos años se empezó a controlar el uso de SF₆ y sus fugas por lo que las condiciones cambiaron.

4.6.1.3. INCERTIDUMBRE Y COHERENCIA TEMPORAL

Coherencia temporal

Se aplica el mismo método a toda la serie temporal.

Incertidumbre

Al obtenerse directamente la cantidad de SF₆ perdido durante cada año, sólo se le asigna un valor de incertidumbre que corresponde al valor por defecto para el dato de actividad de las *Directrices del IPCC del 2006*, el cual es de ±10 %.

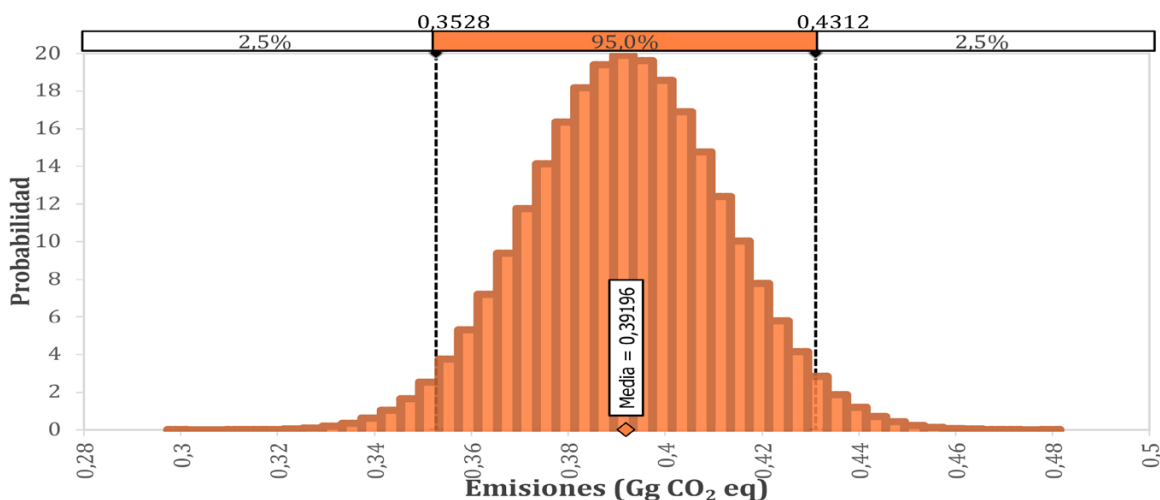


Figura 4.31 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de SF₆ en equipos eléctricos

La simulación de Monte Carlo para esta categoría se encuentra en la Figura 4.31, en donde las emisiones estimadas fueron de 0,3920 Gg de CO₂ eq, siguiendo una distribución normal cuyo límite inferior a un 95 % de confianza es de 0,3528Gg de CO₂ eq y el límite superior de 0,4312Gg de CO₂ eq.

4.6.1.4. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD Y VERIFICACIÓN PARA LA CATEGORÍA

Estas emisiones son sometidas a procesos de verificación y control de calidad general al igual que el resto de este inventario, incluyendo revisión de los datos actividad.

4.6.1.5. RECÁLCULOS

No se reportan recálculos.

4.6.1.6. PLAN DE MEJORA

No se tienen planes de mejora a corto plazo en esta categoría.

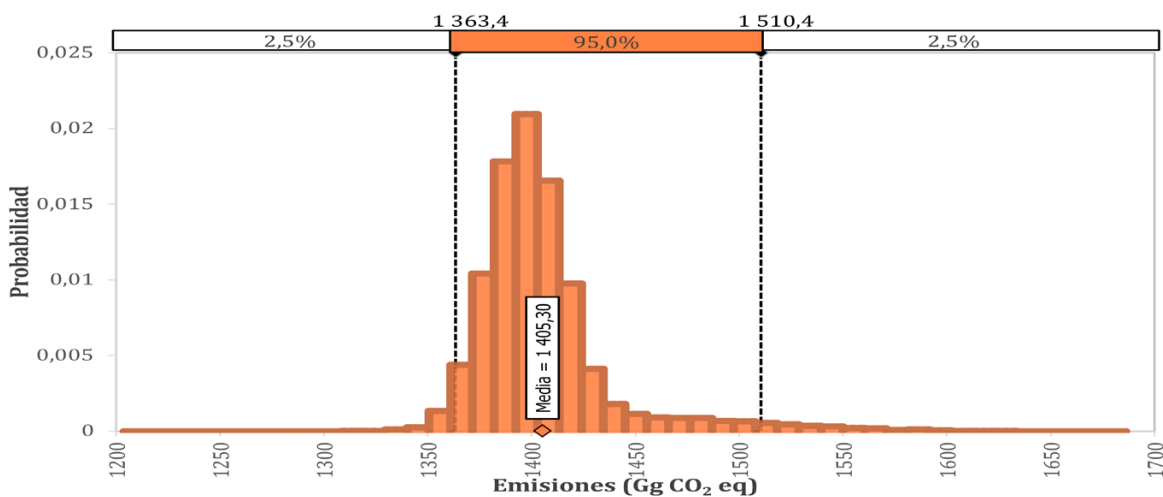


Figura 4.32 Histograma de la simulación de Monte Carlo para el sector IPPU

4.7. Incertidumbre del sector

La incertidumbre por el método de propagación del error para el sector IPPU en el año 2017 fue de $\pm 24,5$ %. Por medio del análisis de Monte Carlo para todo el sector se obtuvo el histograma que se muestra en la Figura 4.32. Las emisiones estimadas mediante este método fueron de 1405,3Gg de CO₂ eq, generando una diferencia de 0,07 % con respecto a los Gg estimados. Las emisiones se encuentran en el intervalo de 1363,4 Gg de CO₂ eq y 1510,4 Gg de CO₂ eq.

4.8. Recálculos del sector

Para el inventario total del sector, se recalculó la serie completa 1990-2017 para todas las categorías indicadas en el cuadro 4.55, en donde, además, se indican las categorías que habían sido estimadas en inventarios anteriores y, por lo tanto, las que no se habían estimado y que están generando los cambios en los valores recalculados mostrados en la Figura 4.33. Otra posible fuente de diferencia en las emisiones es el método utilizado, ya que como se ha indicado anteriormente las emisiones de sustitutos (HFCs) de las sustancias que agotan la capa de ozono, específicamente en la categoría 2.F.1, pasaron de ser calculadas con un Nivel 1 a un Nivel 2.

Cuadro 4.55 Categorías de fuentes estimadas en inventarios anteriores

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015
2.A. Industria de los Minerales							
2.A.1. Producción de cemento	X	X	X	X	X	X	X
2.A.2. Producción de cal		X	X	X	X	X	X
2.A.3. Producción de vidrio		X		X	X	X	X
2.A.4. Otros usos de carbonatos 2.A.4b Otros usos de carbonatos de sodio		X					X
2.B. Industria Química							
2.B.2. Producción de ácido nítrico		X	NO	NO	NO	NO	NO
2.B.5. Producción de carburo							X
2.D. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes							
2.D.1. Uso de lubricantes							X
2.D.2. Uso de ceras de parafina							X
2.F. Emisiones de los sustitutos fluorados para las ODS							
2.F.1. Refrigeración y aire acondicionado		X*	X*	X	X	X	X
2.F.3. Protección contra incendios					X	X	X
2.F.4. Aerosoles					X		X
2.F.6. Otras aplicaciones: Transferencias de fluor a vidrio							
2.G. Manufactura y utilización de otros productos							
2.G.1. Equipos eléctricos					X	X	X

* Estimadas como emisiones potenciales

En el INGEI de 2015 se había presentado de manera general recálculos para el sector para los inventarios de 2005, 2010 y 2012. Esos recálculos se muestran en la Figura 4.33.

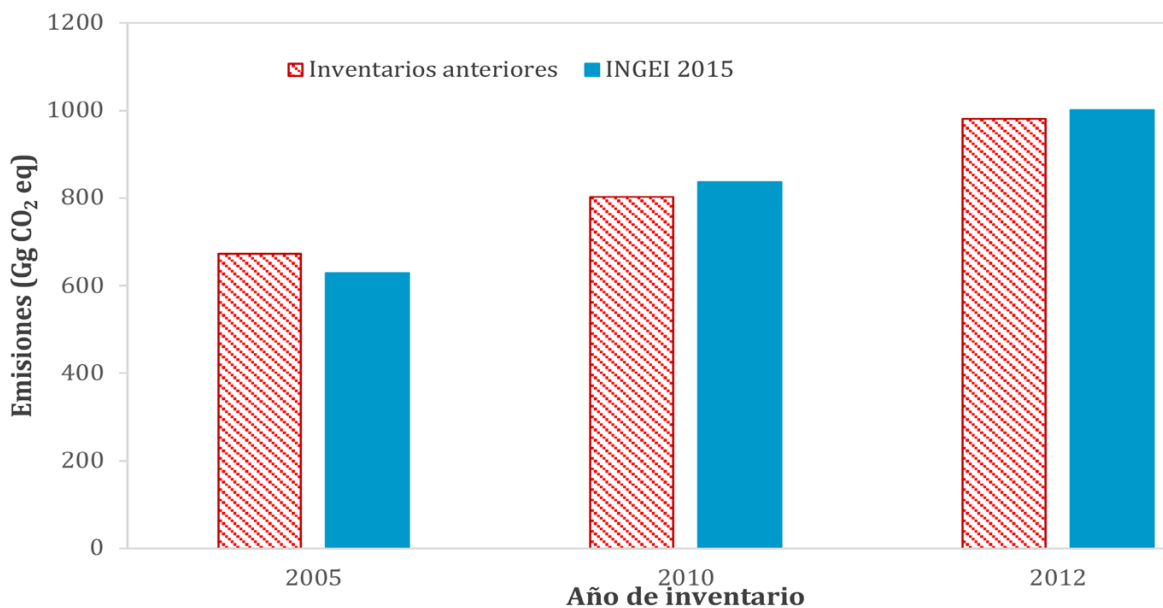


Figura 4.33 Recálculo realizado en el INGEI 2015 de las emisiones del sector IPU para inventarios anteriores

Los recálculos del INGEI 2017 mencionados, para los años en que se realizaron inventarios anteriores se muestran en la Figura 4.34, el resto de los años no mostrados fueron estimados por primera vez en este inventario y se muestran en la Figura 1.

Por último, otro posible generador de diferencia son los potenciales de calentamiento global. Aunque desde el 2000 se utilizan los mismos valores (*Segundo Reporte de Evaluación del IPCC*), para 1990 y 1996 los valores utilizados fueron diferentes (ver Cuadro 4.56).

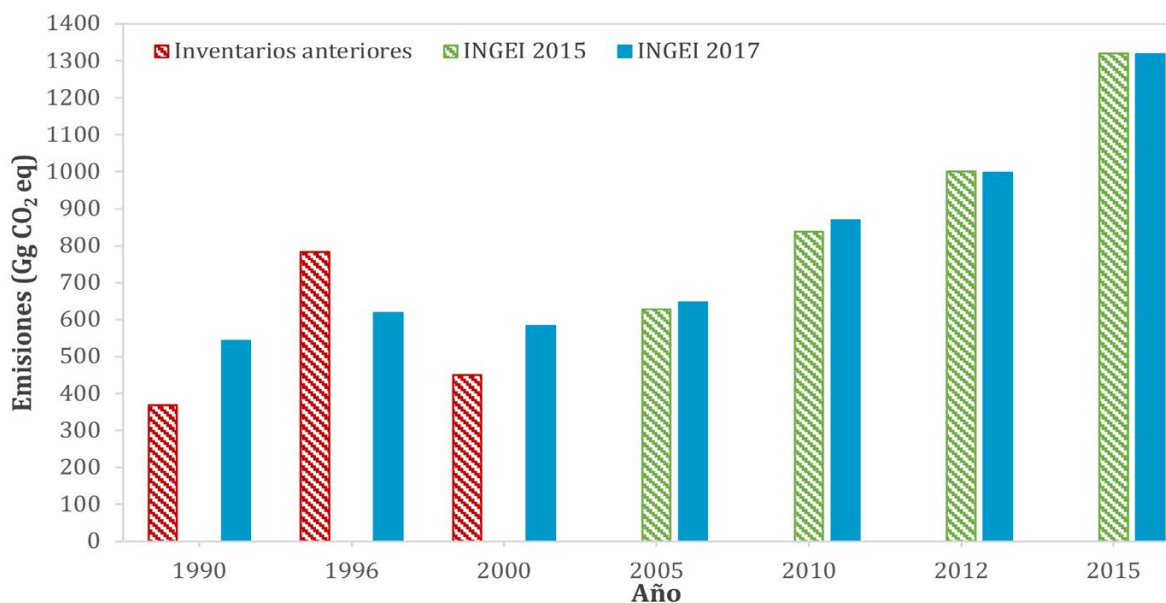


Figura 4.34 Recálculo realizado en el INGEI 2017 de las emisiones del sector IPU para inventarios anteriores.

Cuadro 4.56 Potenciales de calentamiento global a 100 años utilizados en inventarios anteriores

Gas	PCG	1990	1996	2000	2005	2010	2012
CO ₂	1	1	1	1	1	1	1
CH ₄	21	21	21	21	21	21	21
N ₂ O	310	290	310	310	310	310	310
HFC-32	650		293	650	650	650	650
HFC-125	2800			2800	2800	2800	2800
HFC-134a	1300			1300	1300	1300	1300
HFC-143a	3800			3800	3800	3800	3800
HFC-152a	140			140	140	140	140
HFC-23	11700			11700	11700	11700	11700
SF ₆	23900			23900	23900	23900	23900

4.9. Plan de mejora del sector

Se espera hacer un nuevo análisis de categorías que pueden estar ocurriendo en el país y que aún no han sido incorporadas a este inventario, entre las que se encuentra la 2.C.1. Producción de hierro y acero.

Implementar lo indicado en cada plan de mejora por categoría.

4.10. Emisiones de otros gases precursores

En el sector procesos industriales y uso de productos, también ocurren emisiones de otros gases precursores. La metodología seguida para la estimación es la de *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016*.

Para el 2017 los gases contabilizados se muestran en el cuadro 4.57.

Cuadro 4.57 Emisiones de otros gases en el sector IPPU

Categorías de fuente de GEI	SO _x (Gg)	NMVO _C (Gg)
2.A. Industria de los Minerales	0,56	NE
2.A.1. Producción de cemento	0,56	NE
2D Uso de productos no energéticos de combustible y de solventes	NO	33,73
2D4 Otros (Usos de asfalto)	NO	33,73
2H Otros	NO	5,36
2H2 Industria de la alimentación y de la bebida	NO	5,36
Producción de azúcar	NO	4,52
Producción de café	NO	0,01
Procesamiento de carnes	NO	0,08
Producción de licores	NO	0,75
Total IPPU	0,56	39,1

5. SECTOR AGRICULTURA

5.1. Panorama del sector

5.1.1. Introducción

En este sector se contabilizan las emisiones de GEI que ocurren por el uso de suelos agrícolas y otros procesos como la fermentación entérica y la combustión de biomasa, los cuales serán detallados más adelante. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, estas actividades afectan los flujos de gases de efecto invernadero, especialmente de metano, óxido nitroso y dióxido de carbono.

En Costa Rica, en este sector se cuantifican las emisiones de las diferentes categorías mostradas en el cuadro 5.1.

En este sector, las emisiones también están expresadas como CO₂ equivalente, para esto, se utilizaron los potenciales de calentamiento global del *Segundo Reporte de Evaluación del IPCC (SAR)*, presentados en el cuadro 5.2.

Cuadro 5.1 Categorías estimadas en el sector Agricultura

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
3.A. Ganado			
3.A.1. Fermentación entérica		X	
3.A.2. Gestión del estiércol		X	
3.C. Fuentes agregadas y fuentes no CO₂ de la tierra			
3.C.1 Emisiones de GEI por quemado de biomasa			
3.C.1.b Emisiones del quemado de biomasa en tierras de cultivo		X	X
3.C.1.c Emisiones del quemado de biomasa en pastizales		X	X
3.C.2 Encalado	X		
3.C.4 Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados			X
3.C.7 Cultivo de arroz		X	

Cuadro 5.2 Potenciales de calentamiento global (PCG) utilizados

Gas	PCG
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

5.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector

Las emisiones en el 2017 para el sector fueron de 2962,8 Gg de CO₂ eq. Por tipo de gas las emisiones fueron 65,95 Gg de CO₂, 101,04 Gg de CH₄ y 2,50 Gg de N₂O. En el cuadro 5.3 se encuentran tabuladas las emisiones por categoría para el recálculo de los anteriores inventarios y para el año previo al presente (2016).

Cuadro 5.3 Emisiones del sector Agricultura (en Gg de CO₂ eq) para inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2016	2017
3.A.1. Fermentación entérica	2547,4	2000,5	1749,8	1797,8	1893,8	1958,9	1719,1	1789,4	1846,3
3.A.2. Gestión del estiércol	133,6	135	144,4	156,5	176,87	189,3	196,4	204,6	206,6
3.C.1b Emisiones del quemado de biomasa en tierras de cultivo	14,9	20,0	20,6	19,9	18,5	25,0	27,7	25,4	22,9
3.C.1c Emisiones del quemado de biomasa en pastizales	2,0	7,4	5,4	2,7	2,9	4,5	3,0	4,8	4,1
3.C.2 Encalado	47,3	56,8	60,3	59,5	61,7	61,2	63,3	64,3	65,9
3.C.4 Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados	789,9	685,1	620,9	610,7	617,2	611,3	594,9	605,9	598,3
3.C.7 Cultivo de arroz	212,1	215,0	298,6	235	287,9	248,6	261,9	230,6	218,6
Total	3747,2	3119,8	2900,0	2882,1	3058,9	3098,8	2866,3	2925,0	2962,8

Como se observa en la Figura 5.1, de manera global, la emisión total del sector agropecuario, y expresado en unidades de CO₂ equivalente, se redujo desde 1990 y hasta el 2005, año a partir del cual ha mostrado estabilidad con leves fluctuaciones. Variación en las áreas cultivadas, y cambios en la población de las diferentes especies de animales consideradas, explican los cambios observados en la emisión del sector.

De la emisión total del sector en el 2017, expresadas como CO₂ eq, poco más de 62,3 % provienen de la fermentación entérica, seguido por el N₂O en suelo con 20 %. La menor emisión es la debida al quemado de biomasa en pastizales con 0,1 % del total del sector, tal como se observa en la Figura 5.2.

La tendencia porcentual de las emisiones del sector se muestra en la Figura 5.3, en donde se puede observar que el total de estas disminuyeron 20,9 % desde 1990 y hasta el 2017. Al comparar

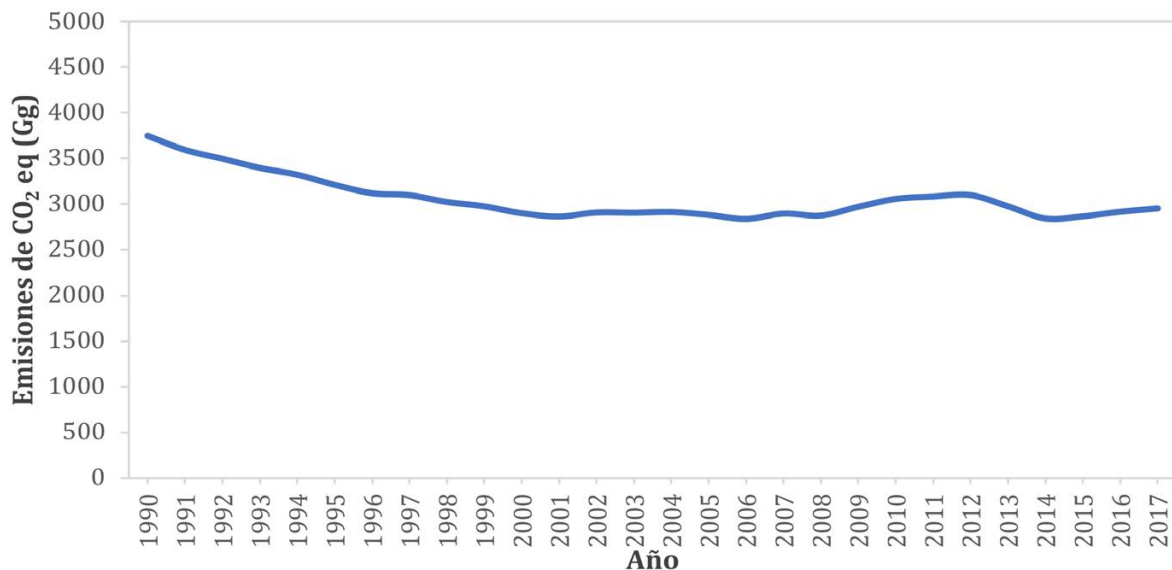


Figura 5.1 Emisiones del sector agricultura en el período 1990-2017

los datos del inventario del 2015 con los del 2017, se observó el aumento de 3,4 % en la emisión, el cambio estimado en el último año fue de 1,3 %.

Por categoría, se observa que el mayor incremento, relativo, desde 1990 es el de quemados en pasturas con 104 %. Esta misma categoría fue la que mostró el mayor cambio en el último año, ya que se redujo 14,5 % en el 2017.

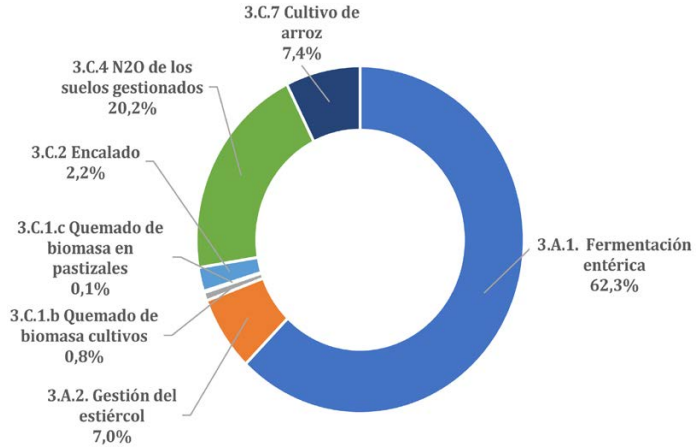


Figura 5.2 Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector agricultura en el 2017

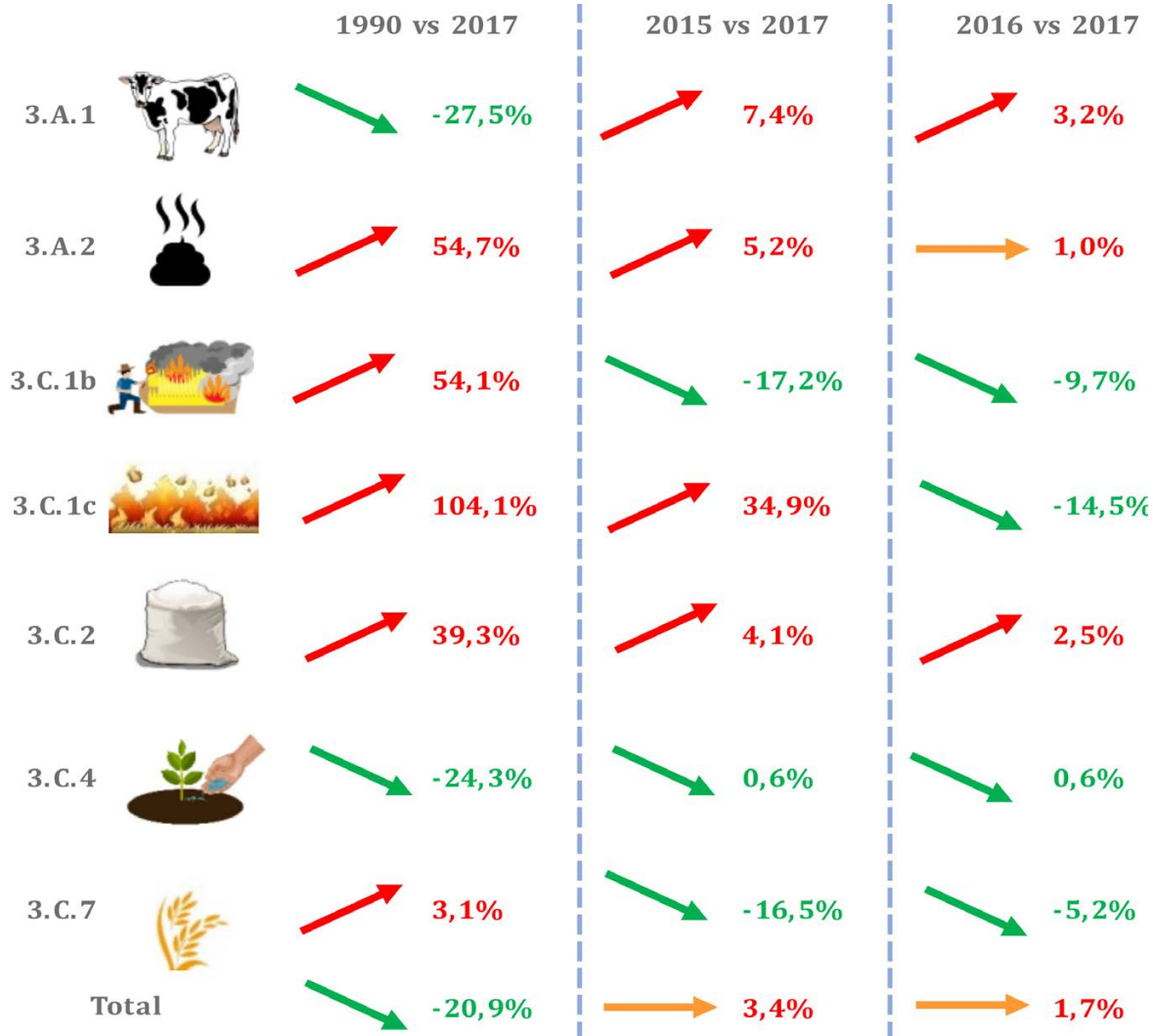


Figura 5.3 Tendencia de las emisiones del sector

5.2. Fermentación entérica (3.A.1)

5.2.1. Descripción de la categoría

La fermentación entérica es el proceso digestivo que ocurre en los rumiantes, donde microorganismos ruminales descomponen carbohidratos complejos como la celulosa, en moléculas simples para favorecer su absorción, siendo uno de los subproductos el metano.

En Costa Rica los sistemas de producción ganaderos se basan en el pastoreo, por lo que la emisión de metano en esta categoría se debe al proceso de fermentación anaeróbica del alimento consumido, mayormente pastos, que ocurre en el rumen.

Esta categoría está conformada, además de los bovinos, por ovinos, caprinos, y búfalos de agua, caballos y mulas. También incluye cerdos, los cuales se manejan en confinamiento.

En el caso de los bovinos, los cuales presentan la mayor población, existen tres sistemas productivos bien definidos: carne, leche y, doble propósito, mismos que presentan variaciones tanto en su manejo como en la cantidad de animales. Por esta razón la emisión se presenta por separado (Cuadro 5.4), tanto para este inventario (2017) como para los realizados anteriormente.

De igual forma, el cuadro 5.4 también incluye la emisión de este gas para cada una de las restantes especies que se ubican dentro de esta categoría.

En el 2017, la emisión de CH₄ proveniente de los bovinos (3.A.1a) totalizó 84,6 Gg (96,2 % de la categoría), alcanzando un máximo histórico en 1990 con 119,1 Gg. La emisión de metano entérico estimada para el 2017, fue mayor para el sistema de producción de carne, la cual representó el 51,6 % del total de la categoría; en segundo lugar, en magnitud de emisión, se ubicó el doble propósito con 28,5 %.

Cuadro 5.4 Emisión de CH₄ de la fermentación entérica (3.A.1)

Fuente	Emisiones Anuales de CH ₄ (Gg)								
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2016	2017
3.A.1a Ganado de leche	16,37	12,25	10,46	14,71	20,98	24,22	18,10	16,50	14,18
3.A.1a Ganado de carne	77,90	60,44	53,24	43,42	36,70	34,36	35,09	39,08	45,34
3.A.1a Ganado doble propósito	24,80	20,29	17,24	25,00	29,65	31,68	25,46	26,33	25,09
3.A.1b Búfalos de agua	0,01	0,01	0,03	0,04	0,16	0,20	0,26	0,26	0,26
3.A.1c Ovinos	0,003	0,003	0,003	0,01	0,04	0,07	0,13	0,16	0,16
3.A.1d Caprinos	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07
3.A.1f Caballos	2,05	2,06	2,06	2,07	2,23	2,26	2,27	2,30	2,30
3.A.1g Mulass	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
3.A.1h Porcinos	0,11	0,15	0,23	0,29	0,34	0,40	0,45	0,47	0,47
Total	121,30	95,26	83,32	85,61	90,18	93,28	81,86	85,21	87,92

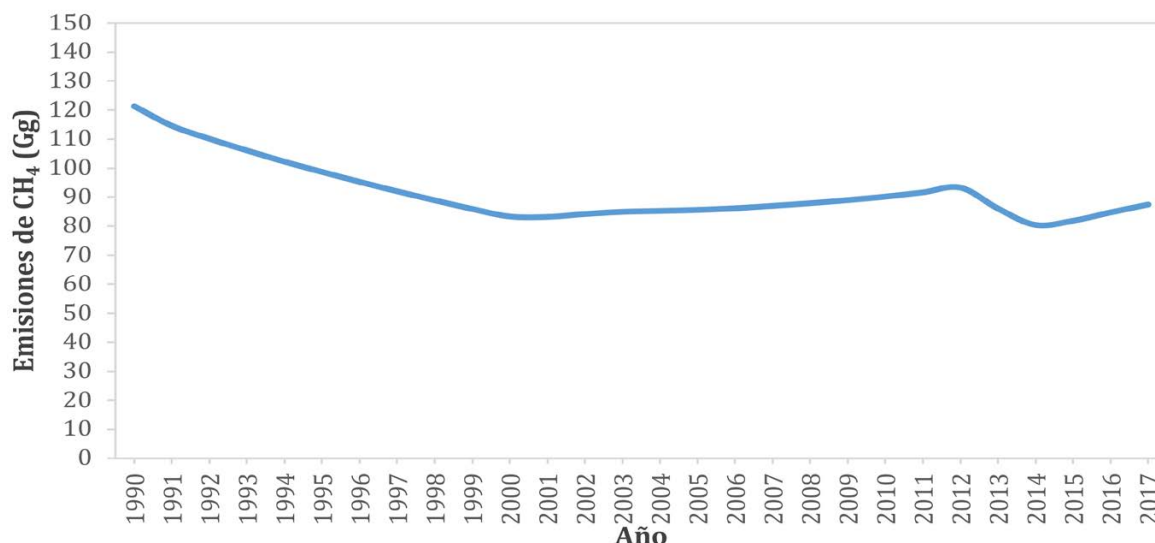


Figura 5.4 Emisión de CH₄ por fermentación entérica para el período 1990-2017

Tal como se observa en la Figura 5.4, la emisión del metano entérico ha fluctuado en el tiempo como resultado de las variaciones poblacionales de las diferentes especies incluidas en esta categoría, particularmente en los sistemas de producción bovina (carne, leche y doble propósito), cuya emisión representa la mayor parte de la categoría.

La reducción observada en la década de los noventa se explica por la reducción del hato bovino nacional, el cual se estabilizó a partir del 2000, con tendencia al incremento de la población, con la excepción de la disminución que se presentó durante el 2013-2014.

La ganadería, siguiendo tanto la evaluación de nivel como el análisis de tendencias en el Inventario Nacional de Emisiones de GEI, ha sido identificada como fuente clave.

La información básica para la estimación de la emisión del metano entérico se presenta en el cuadro 5.5.

Cuadro 5.5 Información básica para la categoría 3.A.1

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CH ₄	Nivel 1 y 2	M/EN	D/CS

5.2.2. Metodología

La estimación de la emisión se realizó siguiendo los niveles 1 y 2 del *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. En el caso del ganado bovino, se utilizó el Nivel 2 y para estimar el factor de emisión por categoría animal la serie de ecuaciones que aparecen en el Volumen 4, Capítulo 10 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Para las restantes especies de esta categoría se utilizaron los factores de emisión por defecto sugeridos por el IPCC con el dato de actividad proveniente de estadísticas nacionales.

En el caso de la estimación de Nivel 1, se usó la ecuación 5.1 mostrada abajo y que se aplicó a búfalos, ovinos, caprinos, caballos, mulas y porcinos.

$$\text{Emisiones} = \text{EF}_{(T)} * \left(\frac{N_{(T)}}{10^6}\right) \tag{5.1}$$

Donde:

Emisiones = Emisiones de CH₄ por fermentación entérica, Gg

EF_(T) = factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

N_(T) = cantidad de cabezas de la especie/categoría T del país

T = Especie o categoría

Para estimar las emisiones usando Nivel 2 del ganado bovino se utilizó la ecuación 5.1. Sin embargo, en ese caso el factor de emisión se estima considerando la ingesta de energía de los animales, esto mediante la ecuación 5.2.

$$\text{EF} = \left[\frac{\text{GE} * \left(\frac{Y_m}{100}\right) * 365}{55,65} \right] \tag{5.2}$$

Donde:

EF = factor de emisión para la población de ganado definida, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

GE = Ingesta de energía bruta, MJ cabeza⁻¹ año⁻¹

Y_m = factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano

El factor 55,65 (MJ kh⁻¹ CH₄) es el contenido de energía del metano

Dato de actividad

La información del dato de actividad se obtuvo de encuestas y censos realizados en su momento por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC 2018). En el cuadro 5.6 se muestra la población animal según sistema productivo y especie para el 2017.

En el caso de los bovinos, la generación de metano es muy importante debido a la población animal, la cual ronda el millón y medio de cabezas. Esta información es el resultado de validar con datos de CORFOGA (2012), e INEC (2015, 2018) un modelo poblacional, el cual permitió la obtención del inventario del hato nacional por sistema de producción (carne, leche, y doble propósito), y dentro de cada uno de ellos la población por categoría animal (vacas adultas, toros, novillas y novillos, toretes, terneros y terneras).

Factor de emisión

La utilización del Nivel 2 permitió la obtención de factores de emisión específicos para cada categoría animal dentro de cada sistema de producción bovina. Esto significa que, por ejemplo, en el sistema de doble propósito, los terneros, novillos, toretes, toros, y en caso de haber bueyes, cada categoría tiene su propio factor de emisión. Lo mismo ocurre en el caso de las categorías en las cuales

Cuadro 5.6 Población animal usada para la estimación de emisiones por fermentación entérica

Fuente	Número de animales
	2017
3.A.1a Ganado de leche	240158
3.A.1a Ganado de carne	777484
3.A.1a Ganado doble propósito	469256
3.A.1b Búfalos de agua	4811
3.A.1c Ovinos	48905
3.A.1d Caprinos	15623
3.A.1f Caballos	127872
3.A.1g Mulass	5348
3.A.1h Porcinos	475400

se agruparon las hembras. Este mismo procedimiento se utilizó para los otros dos sistemas de producción bovina. En las restantes especies, el factor de emisión utilizado fue el valor por defecto sugerido por el IPCC y mostrados en el cuadro 5.7.

5.2.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

La misma metodología utilizada para estimar la emisión del 2017 fue aplicada para toda la serie temporal. Además, los mismos factores de emisión fueron empleados.

Incertidumbre

Como todas las categorías del inventario, se estimó la incertidumbre por propagación del error y por simulación de Monte Carlo. En el caso de propagación del error se usaron los valores mostrados en el cuadro 5.8 que corresponden a los valores de mayores incertidumbres, obteniéndose un valor conservador por este método. Para los datos de actividad al ser estadísticas nacionales se les asignó $\pm 5\%$ mientras que los factores de emisión tienen el valor de la incertidumbre de bovinos, ya que corresponden a la mayoría de las emisiones.

En el caso de la simulación de Monte Carlo, todas las distribuciones son normales con los valores para 95% de confianza mostrados en el cuadro 5.9. En la Figura 5.5 se muestra el resultado de la simulación en donde la media obtenida es de 87,95 Gg de CH_4 y se puede asegurar que las emisiones se encuentran entre 84,5 Gg de CH_4 y 91,4 Gg de CH_4 . Estas emisiones, pero expresadas como CO_2 equivalente se muestran en la Figura 5.6.

Cuadro 5.7 Factores de emisión de Nivel 1 para la categoría 3.A.1

Categoría	Factor de emisión (kg CH_4 cabeza ⁻¹ año ⁻¹)
3.A.1b Búfalos de agua	55
3.A.1c Ovinos	5
3.A.1d Caprinos	5
3.A.1f Caballos	18
3.A.1g Mulas	10
3.A.1h Porcinos	1

Cuadro 5.8 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones por fermentación entérica

Incertidumbre de los datos de la actividad ($\pm\%$)	Incertidumbre del factor de emisión ($\pm\%$)	Incertidumbre combinada ($\pm\%$)
5	10	11,18

Cuadro 5.9 Incertidumbres por simulación de Monte Carlo para las emisiones por fermentación entérica

Fuente	Incertidumbre del dato de actividad ($\pm\%$)	Incertidumbre del factor de emisión ($\pm\%$)
3.A.1a Ganado de leche	3	10
3.A.1a Ganado de carne	5	10
3.A.1a Ganado doble propósito	5	10
3.A.1c Ovinos	10	30
3.A.1d Caprinos	10	30
3.A.1b Búfalos de agua	10	30
3.A.1f Caballos	30	30
3.A.1g Mulas	30	30
3.A.1h Porcinos	10	30

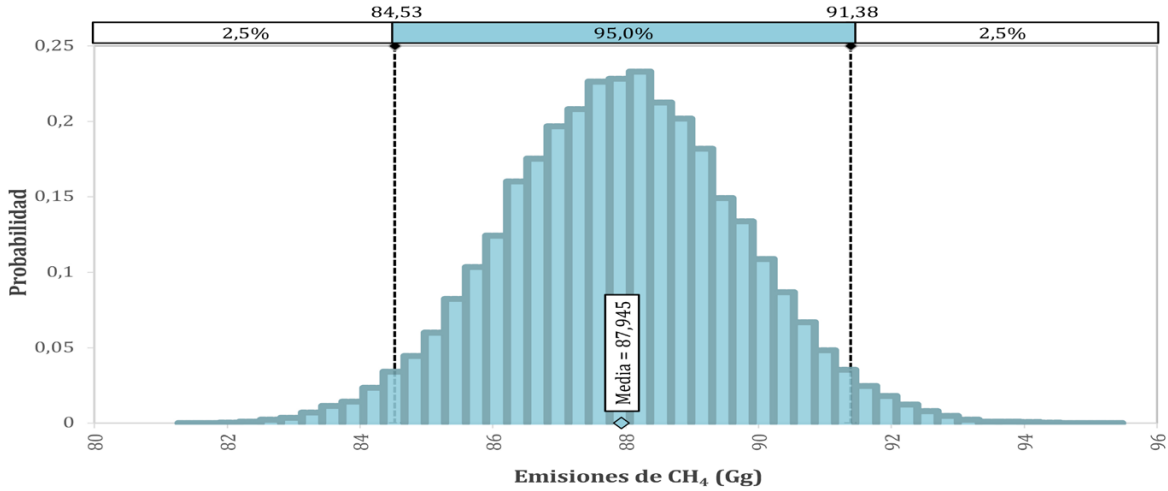


Figura 5.5 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 3.A.1

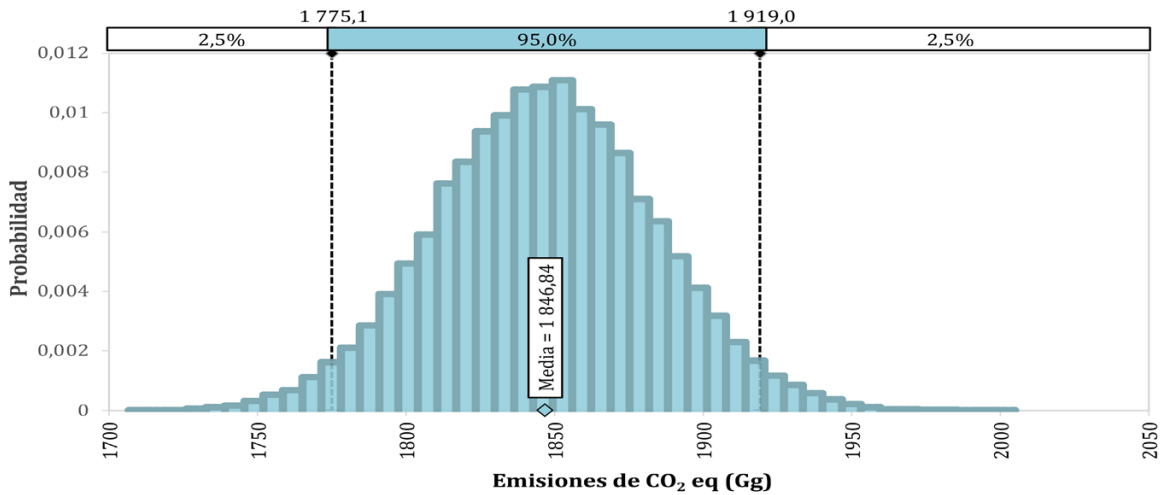


Figura 5.6 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 3.A.1 expresadas como CO₂ eq

5.2.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Se aplicaron los procedimientos generales de AC/CC que se utilizan en el INGEI, lo cual incluye la corroboración de datos y el correspondiente chequeo de que todos los datos y fórmulas hayan sido correctamente utilizados.

5.2.5. Recálculos

Se realizó el recálculo de esta categoría para todos los inventarios realizados hasta el momento. Los cambios mostrados se deben a mejoras en los factores de emisión y cambios en los datos de actividad.

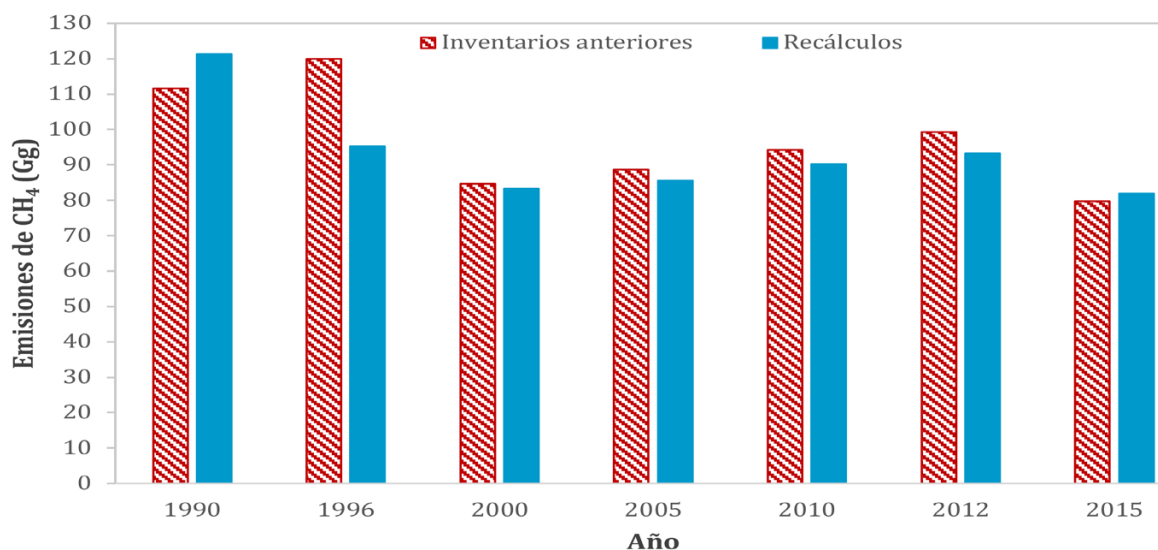


Figura 5.7 Recálculo para la categoría 3.A.1

5.2.6. Plan de mejora

Debido a que la emisión de metano entérico es categoría principal, y en el caso de los bovinos se utiliza el Nivel 2 para la estimación de las emisiones, se considera que acorde con las buenas prácticas de las *Directrices del IPCC de 2006*, por lo que la única mejora identificada es continuar investigaciones para ir desarrollando nuevos factores de emisión nacional.

Para las restantes especies de animales incluidas en esta categoría, dependiendo del desarrollo poblacional, se realizará el cálculo de la emisión con el Nivel 2.

5.3. Gestión del estiércol (3.A.2)

5.3.1. Descripción de la categoría

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, en esta categoría se cuantifica la emisión de metano producto de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica del estiércol de ganado durante su manejo, y la emisión directa de N_2O que se produce por la nitrificación y desnitrificación del nitrógeno contenido en el estiércol.

En el caso del ganado bovino, en términos generales, y con la excepción del sistema de producción de leche donde un bajo porcentaje de los productores realiza la distribución manual de las mismas en el campo, no se proporciona ningún tratamiento al estiércol, ya que el mismo queda distribuido en los campos de pastoreo. Además, hay que anotar que en los últimos años entre los productores de leche se ha incrementado la práctica de distribuir los purines mediante riego en las pasturas (IMN, 2015).

5.3.1.1. EMISIÓN DE METANO

La emisión de este gas, que proviene de las excretas, se da en el campo ya que, con la excepción de los cerdos y gran mayoría de los caprinos que se manejan en confinamiento, las especies se

mantiene pastoreando en áreas abiertas. Como se observa en el cuadro 5.10, la emisión en el 2017 fue de 1,841 Gg de CH₄. El ganado de carne es el que más aporta con un 31,3 %. Esto se debe a que, en el caso de los bovinos, la magnitud de la emisión de metano que se deriva del estiércol depositado en el suelo varía con el sistema de producción, y ello está directamente relacionado con la población animal. Por lo anterior, debido a que el sistema de producción de carne y cría tiene la mayor población, la mayor emisión de metano proviene de este sistema productivo. Caso contrario se determinó para la emisión de este gas en el sistema de producción de leche donde la población animal es la más baja de los tres sistemas productivos; la magnitud estimada de la emisión de metano de las excretas fue intermedia para el doble propósito. Por especie, los porcinos son los segundos en cantidad de emisiones con 25,8 % del total de la categoría.

Cuadro 5.10 Emisión de CH₄ por manejo del estiércol de la ganadería de Costa Rica

Fuente	Emisiones Anuales de CH ₄ (Gg)									
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2016	2017	
3.A.2a Ganado de leche	0,237	0,177	0,156	0,217	0,310	0,358	0,266	0,238	0,214	
3.A.2a Ganado de carne	0,974	0,765	0,660	0,545	0,461	0,432	0,445	0,501	0,576	
3.A.2a Ganado doble propósito	0,331	0,272	0,232	0,329	0,391	0,418	0,348	0,358	0,347	
3.A.2c Ovinos	0,0001	0,0001	0,0001	0,0004	0,0014	0,0027	0,0048	0,0061	0,0061	
3.A.2d Caprinos	0,0002	0,0002	0,005	0,0008	0,0013	0,0015	0,0021	0,0023	0,003	
3.A.2b Búfalos de agua	0,0002	0,0002	0,0005	0,0006	0,0025	0,0032	0,0048	0,0048	0,0048	
3.A.2f Caballos	0,187	0,188	0,188	0,189	0,203	0,206	0,207	0,210	0,210	
3.A.2g Mulas	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	
3.A.2h Porcinos	0,111	0,150	0,229	0,291	0,344	0,401	0,451	0,474	0,475	
Total	1,845	1,557	1,475	1,577	1,719	1,827	1,734	1,799	1,841	

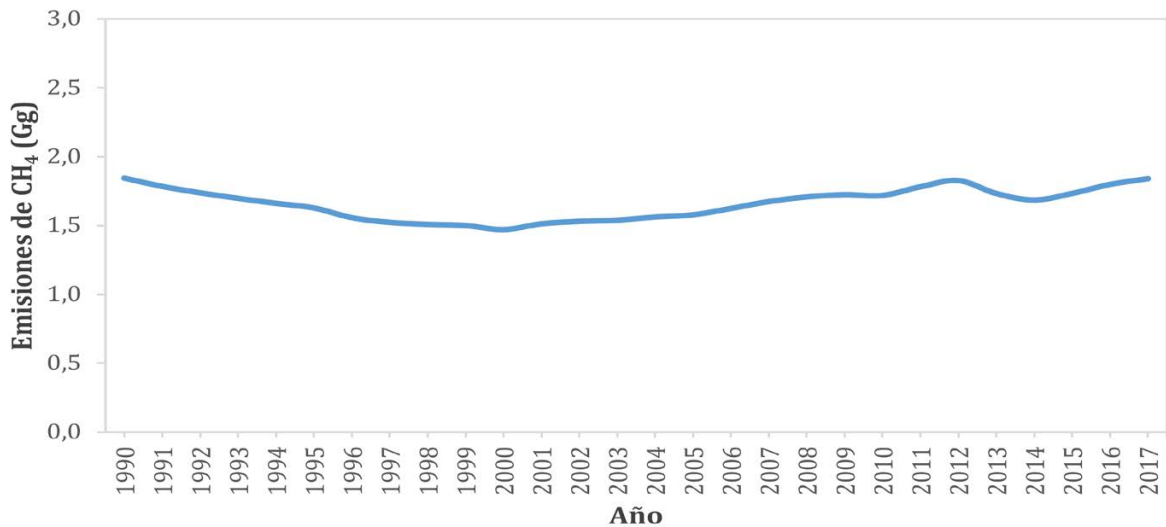


Figura 5.8 Emisión de CH₄ por gestión de estiércol para el período 1990-2017.

La emisión varió con el tiempo (Figura 5.8), lo cual está directamente relacionado con las fluctuaciones poblacionales que se presentaron en el lapso analizado, principalmente en los bovinos, y que influyeron para que el mayor valor se determinara en 1990, y el menor valor en el 2000. Otras especies como los cerdos y los caballos son las especies que también contribuyen de manera importante a estas emisiones. Los valores de la emisión determinadas en el 2012 y 2017 fueron similares a los de 1990.

5.3.1.2. EMISIÓN DE ÓXIDO NITROSO

La emisión de N₂O que se origina en las excretas se ha incrementado en el tiempo, ya que pasó de 0,306 Gg en 1990 a 0,542 Gg en el 2017 (Cuadro 5.11). Las mayores emisiones de este gas se derivan de las excretas de los caballos con 0,27 Gg (49,8% del total) seguido de los porcinos con 0,184 Gg (33,9 %) del total.

Se debe mencionar que las emisiones de N₂O de bovinos no se contabilizan en esta categoría debido a que están incluidas en la categoría 3.C.4.

Cuadro 5.11 Emisión de N₂O por manejo del estiércol de la ganadería de Costa Rica

Fuente	Emisiones Anuales de N ₂ O (Gg)								
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2016	2017
3.A.2c Ovinos	0,0006	0,0006	0,0004	0,0017	0,0064	0,0108	0,0201	0,0252	0,0252
3.A.2d Caprinos	0,0011	0,0011	0,0023	0,0034	0,0056	0,0068	0,0091	0,010	0,0128
3.A.2b Búfalos de agua	0,0003	0,0003	0,0011	0,0013	0,0051	0,0065	0,0088	0,0096	0,0099
3.A.2f Caballos	0,241	0,242	0,242	0,243	0,262	0,266	0,266	0,270	0,270
3.A.2g Mulas	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
3.A.2h Porcinos	0,044	0,060	0,091	0,116	0,137	0,159	0,174	0,183	0,184
3.A.2i Aves de corral	0,012	0,019	0,022	0,026	0,031	0,031	0,031	0,033	0,033
Total	0,306	0,330	0,366	0,398	0,454	0,487	0,516	0,538	0,542

El incremento de la emisión que se observa en la Figura 5.9 se explica por el aumento poblacional que se ha presentado en el tiempo en las especies incluidas en esta categoría.

En términos generales la tendencia es clara, existe aumento de la emisión de este gas (Figura 5.9), lo cual es el resultado de la mayor población animal en el país, y con el ello el cambio observado de 0,236 Gg desde 1990 y hasta el 2017.

La información básica para la estimación de la emisión se presenta en el cuadro 5.12.

Cuadro 5.12 Información básica para la categoría 3.A.2

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CH ₄	Nivel 1 y 2	M/EN	D/CS
N ₂ O	Nivel 1 y 2	M/EN	D/CS

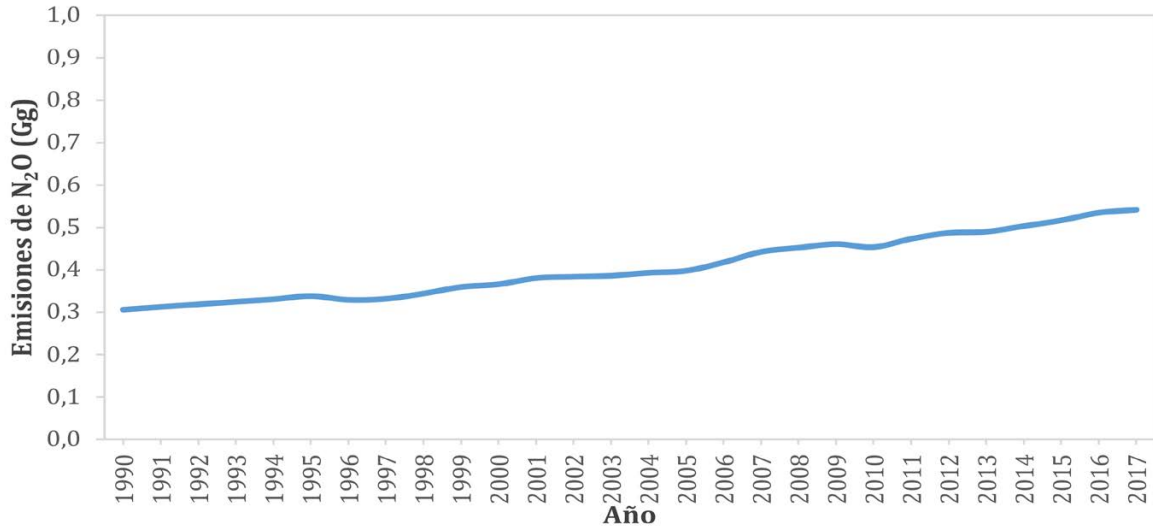


Figura 5.9 Emisión de N₂O por gestión de estiércol para el período 1990-2017.

5.3.2. Metodología

La estimación de la emisión se realizó siguiendo el Nivel 1 y el Nivel 2 del *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*.

5.3.2.1. EMISIÓN DE CH₄ DE LA CATEGORÍA 3.A.2

Las subcategorías que se estimaron con el Nivel 1 fueron: porcinos, caprinos, ovinos, búfalos, equinos y mulas y se utilizó la ecuación 5.3 y la ecuación 5.4 para la estimación.

$$CH_{4(me)} = [N_{(T,P)} * VS_{(T,P)} * AWMS_{(T,S,P)} * EF_{(T,S,P)}] / 1000 \tag{5.3}$$

Donde:

CH₄ = emisiones de CH₄ del manejo de estiércol en el país, kg

VS_(T,P) = excreción anual promedio por cabeza de la especie/categoría T, por sistema de producción P si aplica, kg cabeza⁻¹ año⁻¹

N_(T,P) = cantidad de cabezas de la especie/categoría T del país, por sistema de producción P si aplica.

AWMS_(T,S,P) = fracción del total anual de VS para cada especie T que se gestiona en el sistema S para el sistema de producción P

EF = factor de emisión para cada especie T que se gestiona en el sistema S para el sistema de producción P, g CH₄ kg⁻¹ VS

T = especie o categoría

S = sistema de manejo de estiércol

P = alta producción o baja producción, se usa sólo si se usa el Nivel 1a

$$VS_{(T,P)} = \left[VS_{tasa(T,P)} * \frac{TAM_{T,P}}{1000} \right] * 365 \tag{5.4}$$

Donde:

$VS_{(T,P)}$ = excreción anual promedio por cabeza de la especie/categoría T, por sistema de producción P si aplica, kg cabeza⁻¹ año⁻¹

$VS_{tasa(T,P)}$ = tasa de excreción por defecto de la especie/categoría T, por sistema de producción P si aplica, kg VS (1000 kg de masa animal)⁻¹ día⁻¹

$TAM_{(T,P)}$ = masa promedio por animal de la especie/categoría T del país, por sistema de producción P si aplica, kg animal⁻¹

El Nivel 2 se basa en el uso de un factor de emisión desarrollado con parámetros específicos del país. Este factor de emisión se estima con la ecuación 5.5 y posteriormente las emisiones se cuantifican con la ecuación 5.6, ambas ecuaciones son descritas a continuación.

$$EF = DMI * \left(\frac{MY}{1000}\right) * 365 \quad (5.5)$$

Donde:

EF = factor de emisión, kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

DMI = kg DMI día⁻¹

MY = rendimiento del metano, g CH₄/kg DMI

1000 = conversión de g a kg

365 = días al año

$$\text{Emisiones}_T = EF_{(T)} * \left(\frac{N_{(T)}}{10^6}\right) \quad (5.6)$$

Donde:

Emisiones = emisiones de CH₄ por gestión del estiércol, Gg

$EF_{(T)}$ = factor de emisión para la población de ganado definida (ecuación 5.5), kg CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹

$N_{(T)}$ = cantidad de cabezas de la especie/categoría T del país

T = especie o categoría

Dato de actividad

El dato de actividad, tanto para este inventario como para el recálculo de los pasados, se obtuvo de encuestas y censos realizados en su momento por dos instituciones: la Corporación Ganadera Nacional (CORFOGA 2001, 2012) y el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC 2015, 2018).

Debido a que no existen datos poblacionales para algunos años en los cuales se realizó el inventario de emisión, se utilizaron modelos de dinámica poblacional para las diferentes especies, de los cuales se obtuvo la información faltante. Los datos para el 2017 se muestran en el cuadro 5.6.

Factor de emisión

Se utilizaron resultados de investigación nacional para estimar la emisión de ambos gases (metano y óxido nitroso) provenientes de las excretas para una parte de la población bovina, así como factores de emisión y parámetros por defecto sugeridos por el IPCC para las otras especies que se combinan para obtener los factores de emisión en kg de CH₄ cabeza⁻¹ año⁻¹, los que se muestran en el cuadro 5.13.

Cuadro 5.13 Factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones de CH₄ la categoría 3.A.2

Especie	Factor de emisión (kg CH ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹)
3.A.2b Búfalos de agua	1,0
3.A.2c Ovinos	0,15
3.A.2d Caprinos	0,17
3.A.2f Caballos	1,64
3.A.2g Mulas	0,9
3.A.2h Porcinos	1,0

Para el caso del Nivel 2 los factores de emisión obtenidos se resumen en el cuadro 5.14

Cuadro 5.14 Factores de emisión de Nivel 2 para las emisiones de CH₄ categoría 3.A.2

Especie	Factor de emisión (kg CH ₄ cabeza ⁻¹ año ⁻¹)
3.A.2a Ganado de leche	0,89
3.A.2a Ganado de carne	0,74
3.A.2a Ganado doble propósito	0,75

5.3.2.2. EMISIÓN DE N₂O DE LA CATEGORÍA 3.A.2

Tanto para la estimación de Nivel 1 como Nivel 2, de acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006* se utiliza la ecuación 5.7.

$$N_2O_{D(mm)} = \left[\sum_S \left[\sum_{T,P} \left((N_{(T,P)} * Nex_{(T,P)}) * MS_{(T,S,P)} \right) + N_{cdg(s)} \right] * EF_{3(S)} \right] * \left(\frac{44}{28} \right) \quad (5.7)$$

Donde:

$N_2O_{D(mm)}$ = emisiones directas de N₂O de la gestión del estiércol del país, kg N₂O año⁻¹

$N_{(T)}$ = cantidad de cabezas de la especie/categoría T del país

$Nex_{(T)}$ = promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país, kg N animal⁻¹ año⁻¹

$MS_{(T,S,P)}$ = fracción de la excreción total anual de nitrógeno de cada especie/categoría de ganado T que se gestiona en el sistema de gestión del estiércol S en el país, adimensional; se debe considerar la clase de producción P si se usa un Nivel 1A.

$Ncdg_{(s)}$ = aporte anual de nitrógeno a través de la co-digestión en el país, kg N año⁻¹, donde el sistema (s) se refiere exclusivamente a digestión anaerobia.

$EF_{3(s)}$ = factor de emisión para emisiones directas de N₂O del sistema de gestión del estiércol S en el país, kg N₂O-N kg⁻¹ N en el sistema de gestión del estiércol S

Dato de actividad

Los datos de actividad se obtuvieron tal como se indica en la sección 5.3.2.1, para el 2017 se muestran en el cuadro 5.6. Asimismo, se incluyó la población de aves de corral que también presenta emisiones de N₂O en esta categoría, usando como dato de actividad el mostrado en el cuadro 5.15.

Cuadro 5.15 Población de aves de corral del 2017 usadas en la estimación de la emisión de N₂O por gestión de estiércol.

Especie	Población
3.A.2i Aves de corral	25.239.000

Factor de emisión

Se utilizaron factores de emisión y parámetros por defecto sugeridos por el IPCC para las especies que, al ser combinados, se obtienen los factores de emisión en kg de N₂O cabeza⁻¹ año⁻¹ mostrados en el cuadro 5.16.

Cuadro 5.16 Factores de emisión de Nivel 1 para la emisión de N₂O la categoría 3.A.2

Especie	Factor de emisión 2% del nitrógeno excretado (kg N exc 1000 ⁻¹ kg Peso Vivo)
3.A.2h Porcinos	0,55/1,57
3.A.2d Caprinos	1,37
3.A.2c Ovinos	1,17
3.A.2b Búfalos de agua	0,32
3.A.2f Caballos	0,46
3.A.2g Mulas	0,46
3.A.2i Aves de corral	0,60/1,1

5.3.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

La misma metodología de cálculo fue aplicada para toda la serie temporal de los inventarios realizados hasta el momento; además, los mismos factores de emisión fueron aplicados. Los datos de actividad fueron obtenidos o estimados de la forma en que se indicó en la sección anterior.

Incertidumbre

En el caso de la estimación de la incertidumbre con el método de propagación del error se usaron los valores mostrados en el cuadro 5.17, que corresponden a los valores de mayores incertidumbres y así se obtuvo un valor conservador por este método. Para los datos de actividad al ser estadísticas nacionales se les asignó ±5 %, mientras que los factores de emisión al ser en su mayoría por defecto se usó un valor de ±30 % para el CH₄ y ±50 % para el N₂O, ambos sugeridos en las *Directrices del IPCC de 2006*.

Cuadro 5.17 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones de CH₄ y N₂O por manejo de estiércol

Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del factor de emisión (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
CH ₄	5	30	30,41
N ₂ O		50	50,25

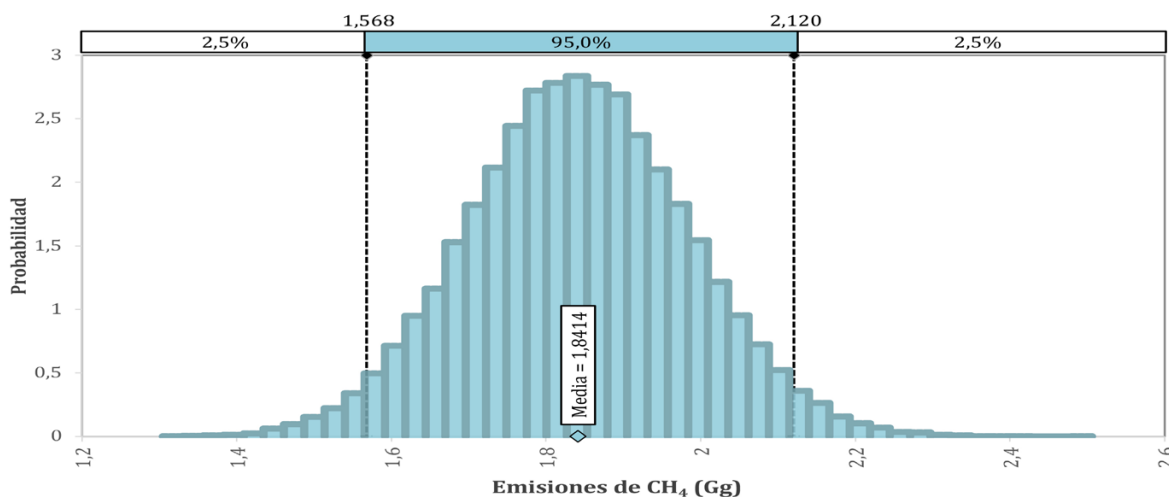


Figura 5.10 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 3.A.2.

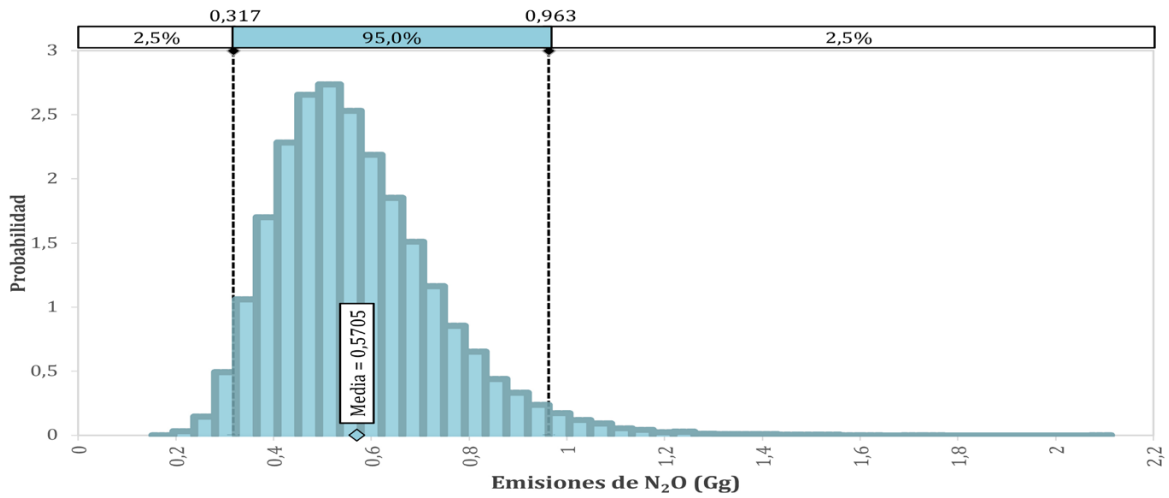


Figura 5.11 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de N₂O de la categoría 3.A.2.

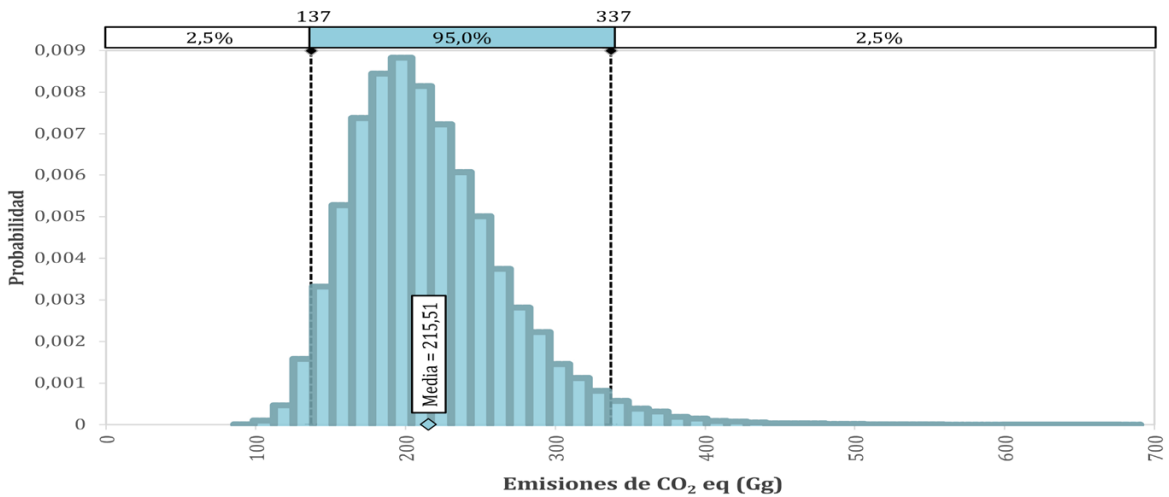


Figura 5.12. Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 3.A.2 expresadas como CO₂ eq

En el caso de la simulación de Monte Carlo, todas las distribuciones son normales con los valores a un 95% de confianza mostrados en el cuadro 5.18. En la Figura 5.10 se muestra el resultado de la simulación para las emisiones de CH₄ en donde la media obtenida es de 1,841 Gg de CH₄ y se puede asegurar que las emisiones se encuentran entre 1,568 Gg y 2,120 Gg. Para el caso de las emisiones de N₂O de esta categoría, se obtuvo, usando Monte Carlo, un valor de 0,5705 Gg de N₂O con valores a un 95% de confianza de 0,317 y 0,963 Gg de N₂O tal como se muestra en la Figura 5.11. Ambos gases se combinaron y se obtuvieron los valores en CO₂ equivalente mostrados en la Figura 5.12.

5.3.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Además de los procedimientos para las AG/GO que se aplica al inventario total nacional, se revisaron todos los parámetros utilizados y la aplicación correcta de todas las fórmulas.

Figura 5.13 Resultados para las AG/GO que CH₄ de la categoría 3.A.2

Cuadro 5.18 Incertidumbres por simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ y N₂O por manejo de estiércol

Fuente	Incertidumbre del dato de actividad (±%)	Incertidumbre del factor de emisión de CH ₄ (±%)	Incertidumbre del factor de emisión de N ₂ O (±%)
3.A.2a Ganado de leche	3	10	NA
3.A.2a Ganado de carne	5	10	NA
3.A.2a Ganado doble propósito	5	10	NA
3.A.2c Ovinos	10	30	50
3.A.2d Caprinos	10	30	50
3.A.2b Búfalos de agua	10	30	50
3.A.2f Caballos	30	30	50
3.A.2g Mulas	30	30	50
3.A.2h Porcinos	10	30	50
3.A.2i Aves de corral	10	NA	50

5.3.5. Recálculos

Se realizó el recálculo de esta categoría para todos los inventarios realizados hasta el momento. Los cambios se deben a modificaciones en los datos de actividad y en los factores de emisión.

Para el caso de la emisión de N₂O, fue estimada por primera vez para el INGEI de 2010. En la Figura 5.14 se muestra el recálculo para ese inventario, para el 2012 y para el 2015. Para el resto de los años es la primera vez que se muestran estimaciones.

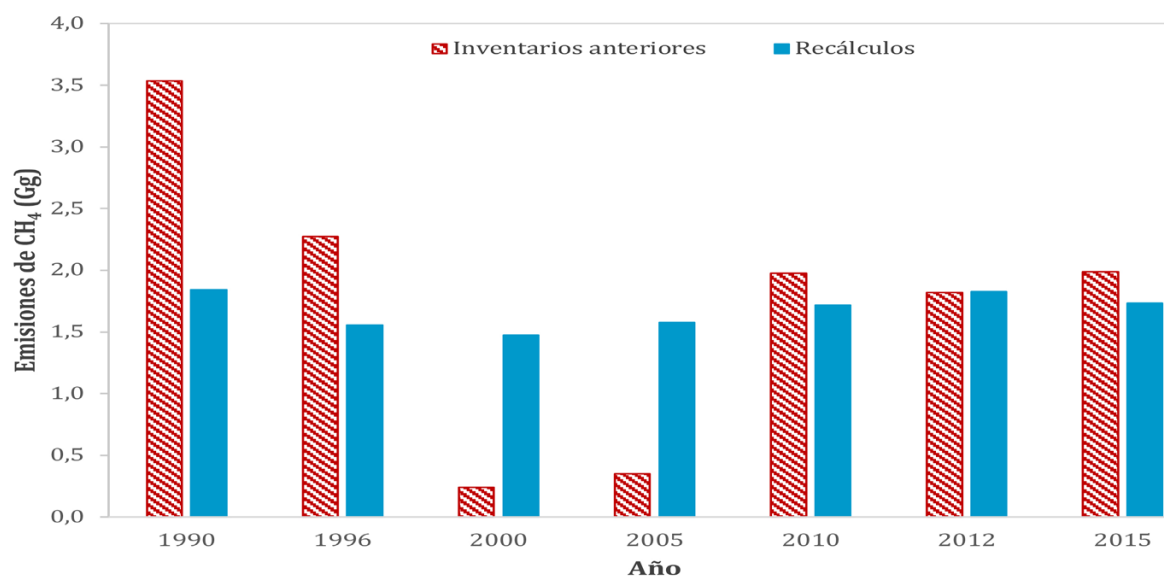


Figura 5.13 Recálculo para las emisiones de CH₄ de la categoría 3.A.2.

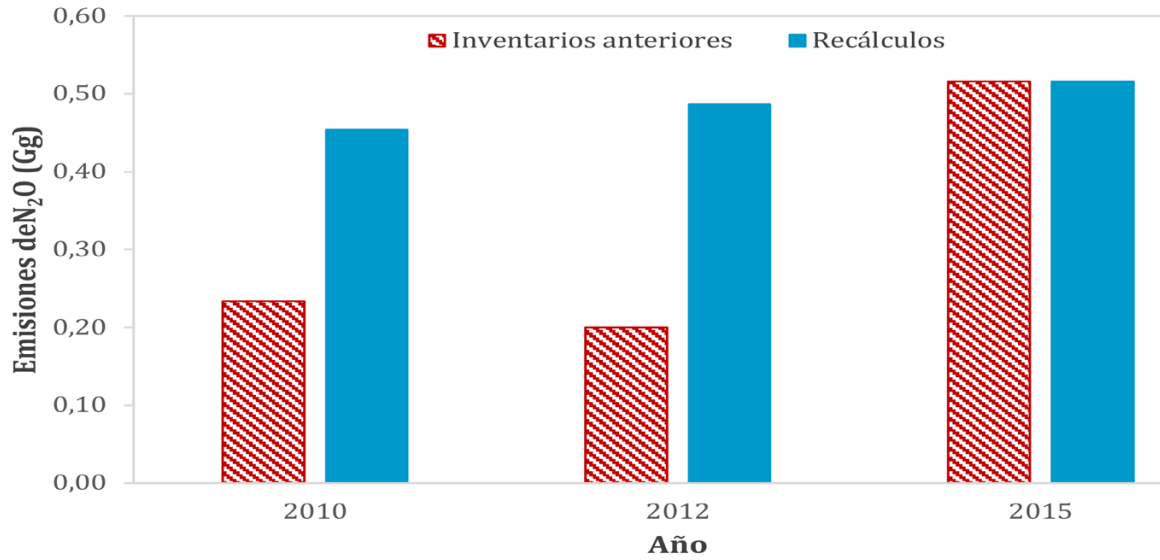


Figura 5.14 Recálculo para las emisiones de N₂O de la categoría 3.A.2.

5.3.6. Plan de mejora

De momento no está contemplado un plan de mejorar para esta categoría.

5.4. Emisiones de GEI por la quema de biomasa (3.C.1b y 3.C.1c)

5.4.1. Descripción de la categoría

La quema ha sido una práctica bastante común en la agricultura, principalmente se da para eliminar residuos de cosecha y malezas, y en casos muy específicos para facilitar la cosecha y preparación del terreno para el siguiente ciclo de cultivo. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, en esta categoría se deben declarar las emisiones de CH₄ y N₂O únicamente. Las emisiones de CO₂ del quemado de biomasa no deben declararse porque se supone que el carbono liberado durante el proceso de combustión es reabsorbido por la vegetación durante la siguiente temporada de crecimiento debido al proceso de fotosíntesis.

Esta práctica se ha venido desincentivando en el sector agropecuario, y se encuentra regulada en Costa Rica en la Ley 7779 Uso, manejo y conservación de suelos y detallada en el “Reglamento para Quemadas Controladas con Fines Agrícolas y Pecuarios”. Sin embargo, se debe mencionar que una buena parte de las quemadas se producen durante la época seca de manera accidental.

En los sistemas de producción de los cultivos anuales una de las prácticas usualmente utilizadas por los agricultores es alternar los terrenos que utilizan para sembrar. Esta alternancia implica que una fracción de ellos son dejados en descanso, y en consecuencia no son utilizados para la siembra de cultivos. Durante este lapso, en esos terrenos, crece gran variedad de plantas que, dependiendo del tiempo de descanso, se transforman en charral o tacotal (IMN, 2015).

Cuando estos terrenos van a ser utilizados nuevamente para el cultivo de especies agrícolas comestibles, la vegetación es cortada y en ocasiones quemada. Si bien este material vegetal que se

quema no constituye residuo agrícola, el mismo se ha incluido en esta categoría ya que el período de descanso de los terrenos agrícolas es parte importante del sistema de producción (IMN, 2015).

En Costa Rica, uno de los sectores que más utiliza el quemado es el cultivo de la caña de azúcar, debido a las facilidades que produce para poder realizar la cosecha de manera manual.

La emisión de metano y óxido nitroso que se genera por la quema de áreas de pasturas y agrícolas fluctúa dependiendo del área cosechada o quemada y, condición climática imperante, entre otros factores.

Para el 2017, los valores estimados para la emisión de ambos gases presentaron magnitudes intermedias con respecto a las estimadas para los restantes inventarios (Cuadro 5.19 y Cuadro 5.20). Para el CH₄ las emisiones del 2017 fueron de 0,872 Gg, 17,1 % menores que en 2016 y 57,7 % mayores que las de 1990. Como se muestra en la Figura 5.15, la menor emisión de CH₄ se presentaron en 1990 y la mayor se alcanzó en 2013.

Cuadro 5.19 Emisión de CH₄ por quemas en tierras de cultivo y pastizales en Costa Rica

Fuente	Emisiones Anuales de CH ₄ (Gg)									
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2016	2017	
3.C.1b. Quemado de biomasa en tierras de cultivo	0,512	0,675	0,711	0,685	0,635	0,860	0,953	0,955	0,789	
3.C.1c. Quemado de biomasa en pastizales	0,041	0,105	0,109	0,054	0,058	0,091	0,062	0,097	0,083	
Total	0,553	0,780	0,820	0,739	0,693	0,951	1,015	1,052	0,872	

En general, la magnitud de la emisión de ambos gases originados en las quemas de pasturas y residuos agrícolas es baja, particularmente la del N₂O (Figura 5.15 y Figura 5.16). Como se comentó anteriormente, las variaciones en la emisión se explican por diferencias anuales en el área total que se quema resultado de condiciones climáticas de sequía, así como también de áreas cosechadas.

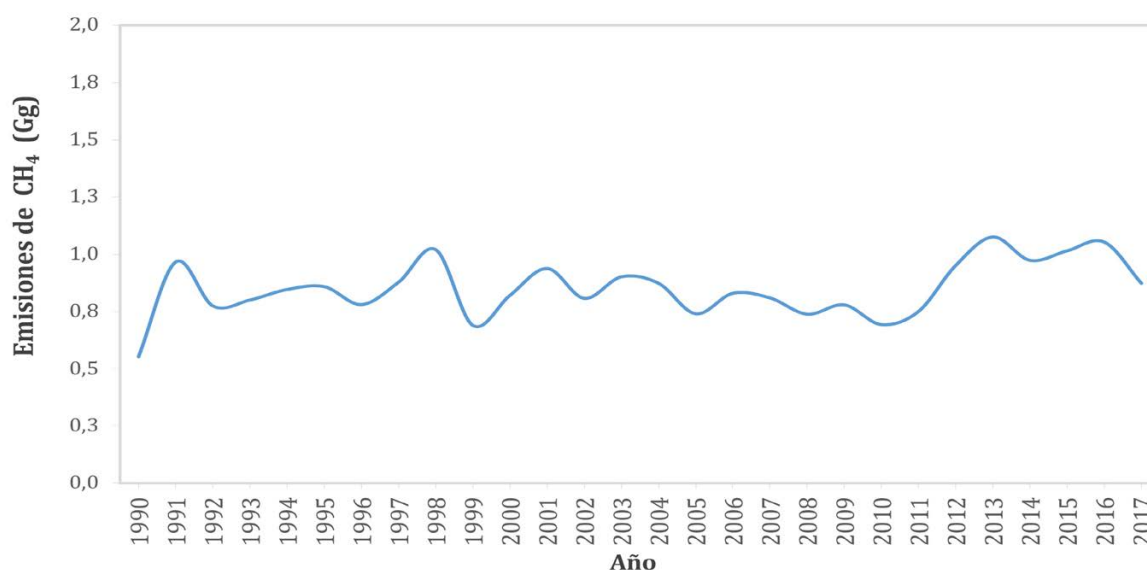


Figura 5.15 Histórico de emisiones de CH₄ por quemas en tierras de cultivo y pastizales en Costa Rica.

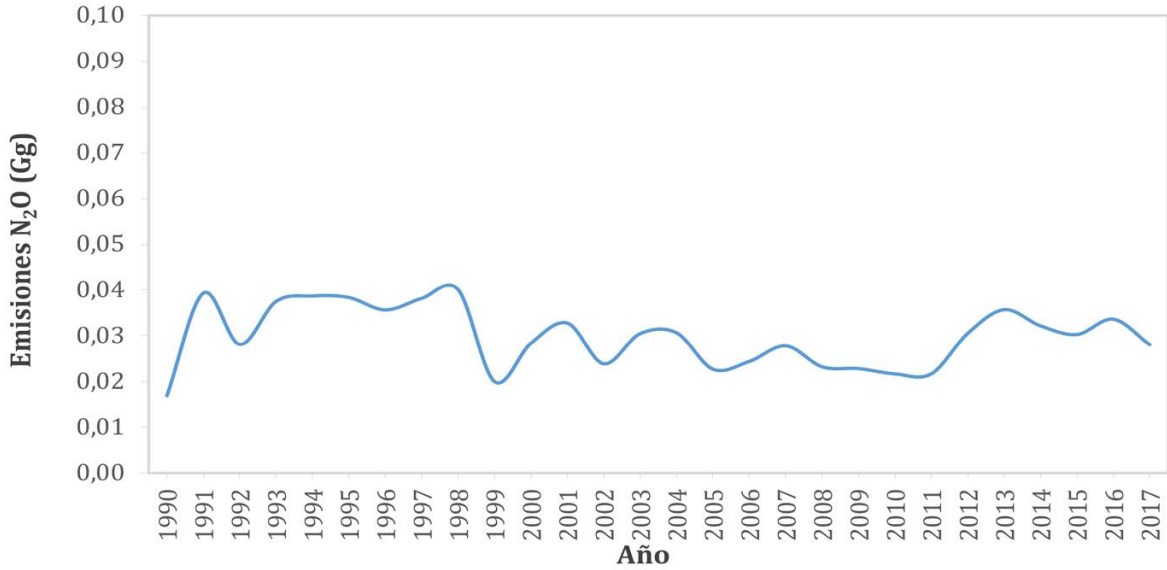


Figura 5.16 Histórico de emisiones de N₂O por quemas en tierras de cultivo y pastizales en Costa Rica

En el caso del N₂O, la emisión del 2017 fue de 0,0281 Gg, 7,6 % mayores que en el 2016 y 65,3 % mayores que las de 1990. Como se muestra en la Figura 5.16, las menores emisiones de N₂O se presentaron en 1990 y la mayor se alcanzó en 1998.

Cuadro 5.20. Emisión de N₂O por quemas en tierras de cultivo y pastizales en Costa Rica.

Fuente	Emisiones Anuales de N ₂ O (Gg)								
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2016	2017
3.C.1b. Quemado de biomasa en tierras de cultivo	0,0133	0,0189	0,0184	0,0178	0,0165	0,0223	0,0247	0,0172	0,0205
3.C.1c. Quemado de biomasa en pastizales	0,0037	0,0168	0,010	0,005	0,0053	0,0083	0,0056	0,0089	0,0076
Total	0,0170	0,0357	0,0284	0,0228	0,0218	0,0306	0,0303	0,0261	0,0281

La información básica para la estimación de la emisión se presenta en el cuadro 5.21.

Cuadro 5.21 Información básica para las categorías 3.C.1b y 3.C.1c

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

5.4.2. Metodología

La estimación de la emisión se realizó siguiendo el Nivel 1 de las *Directrices del IPCC del 2006*. Para poder realizar la estimación tanto de CH₄ como de N₂O se utilizó la ecuación 5.8

$$L_{\text{fuego}} = A * M_B * C_f * G_{ef} * 10^{-3} \quad (5.8) \quad 197$$

Donde:

L_{fuego} = cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero provocada por el fuego, ton de GEI

A = superficie quemada, ha

M_B = masa de combustible disponible para la combustión, ton ha⁻¹

C_f = factor de combustión, adimensional

G_{ef} = factor de emisión, g de GEI kg⁻¹ de materia seca quemada

Dato de actividad

La información del dato de actividad, tanto para este inventario como para los anteriores, se obtuvo de los informes anuales de la Comisión Nacional de Incendios Forestales. Las áreas para el año 2017 se muestran en el cuadro 5.22.

Factor de emisión y parámetros

Para ambos gases se utilizaron los parámetros y el factor de emisión por defecto sugeridos en las *Directrices del IPCC de 2006*.

5.4.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Para toda la serie temporal se aplicó tanto la misma metodología como los mismos factores de emisión. Los datos de actividad se obtuvieron de la forma indicada anteriormente.

Incertidumbre

Los datos para las incertidumbres estimadas por propagación de error para los dos gases, para cultivos y pastizales se muestran en el cuadro 5.24.

Cuadro 5.22 Datos de actividad del 2017 para las categorías 3.C.1b y 3.C.1c

Cultivo/cobertura	Área (ha)
Caña	38712
Pastos	7021
Pasto arbolado	6060
Sabana	1885
Tacotales	2564
Charral	2561

Nota: la caña, tacotales y charral conforman las tierras de cultivo; pastos, pastos arbolados y sabana se agregan como pastizales.

Cuadro 5.23 Datos de actividad del 2017 para las categorías 3.C.1b y 3.C.1c

Cultivo/cobertura	FE, g CH ₄ kg ⁻¹ MS quemada	FE N ₂ O gr kg ⁻¹ MS quemada
Residuos agrícolas	2,7	0,07
Pasturas	2,3	0,21

Cuadro 5.24 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones de CH₄ y N₂O por quemas en cultivos y pastizales

Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del factor de emisión (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
CH ₄	10	10	14,14
N ₂ O	10	10	14,14

Para el caso de las simulaciones de Monte Carlo, se utilizaron los valores indicados en el cuadro 5.25 con distribuciones de probabilidad normales.

Cuadro 5.25 Incertidumbres para la simulación de Monte Carlos para las emisiones de CH₄ y N₂O por quemas en cultivos y pastizales

Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad	Incertidumbre del factor de emisión	Valor cf
CH ₄	±5% caña de azúcar	±30%	Valores por defecto IPCC (2006)
N ₂ O	±10% otros	±50%	

Tal como se observa en la Figura 5.17 se obtuvo una media de 0,878 Gg de CH₄ con valores de incertidumbres entre 0,572 Gg y 1,211 Gg. En el caso de las emisiones de N₂O, mostrado en la Figura 5.18, se obtuvo una media de 0,028 Gg con posibles valores entre 0,007 Gg y 0,055 Gg. Por último, se combinaron ambos gases y se obtuvieron los valores mostrados en la Figura 5.19.

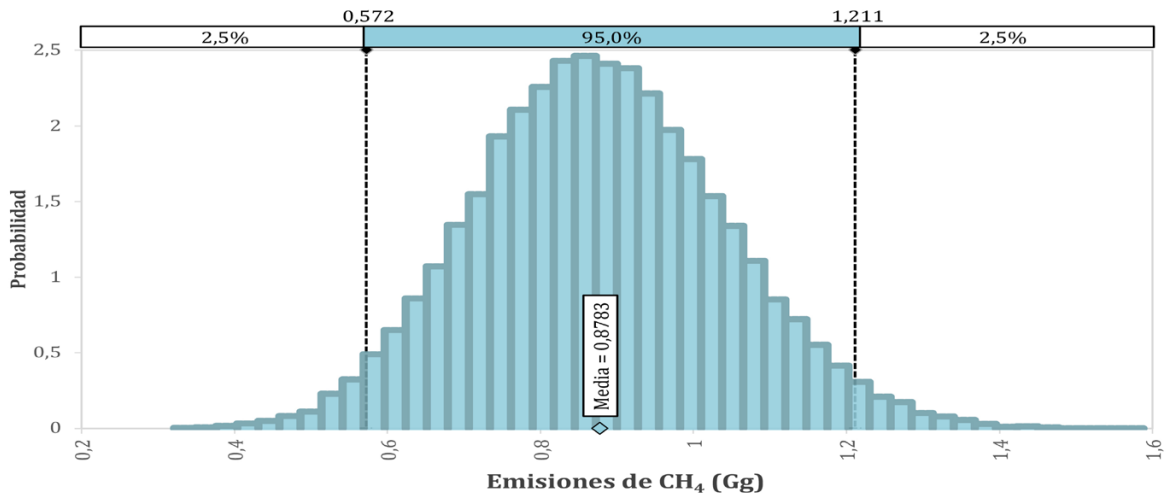


Figura 5.17 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 3.C.1b +3.C.1c

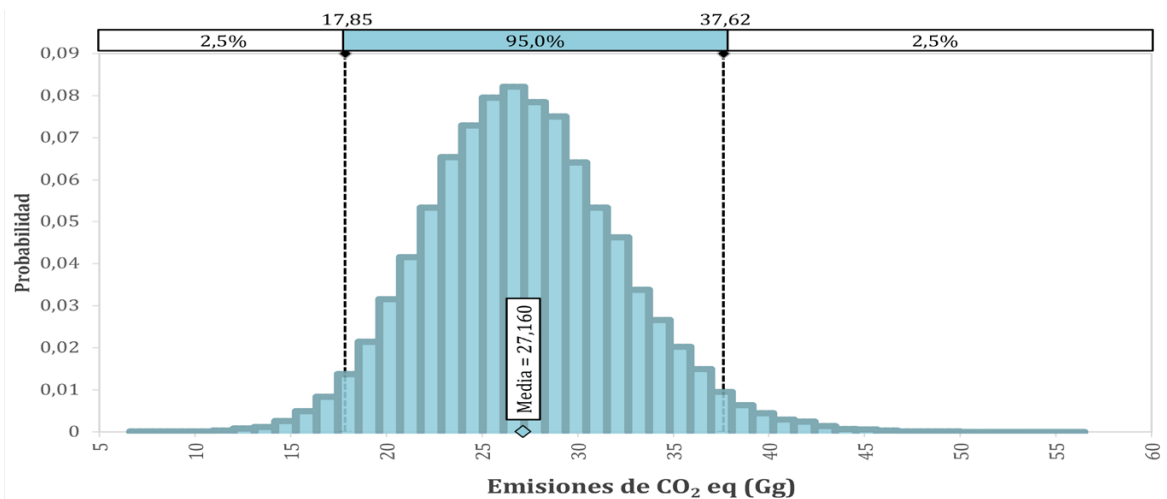


Figura 5.18 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de N₂O de la categoría 3.C.1b +3.C.1c

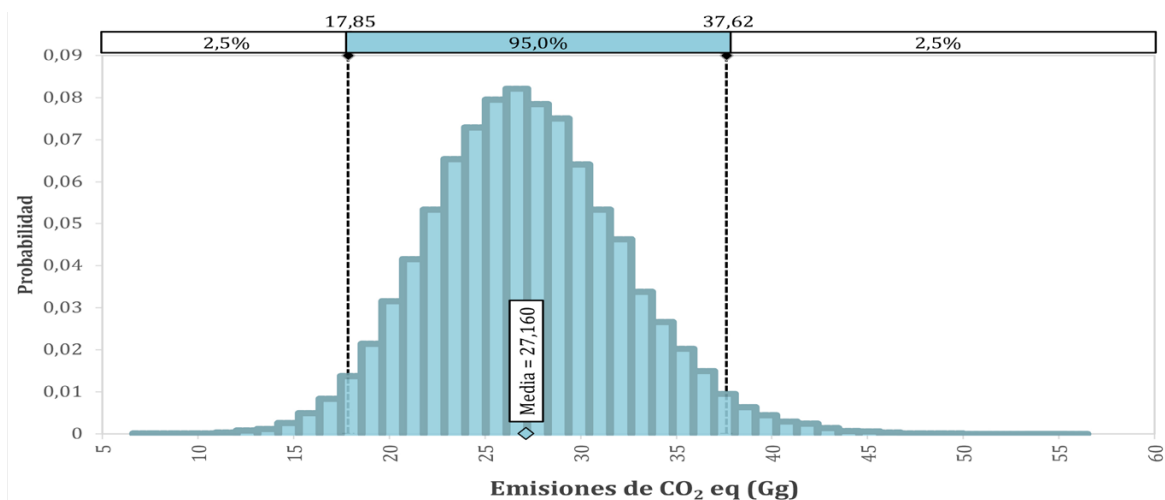


Figura 5.19 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 3.C.1b +3.C.1c expresadas como CO₂ eq.

5.4.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Además de los procedimientos generales de AC/CC que se aplica al inventario total nacional, se revisan todos los parámetros utilizados y la aplicación correcta de todas las fórmulas.

5.4.5. Recálculos

Las variaciones observadas para los dos siguientes gases con respecto a los valores reportados en los inventarios anteriores **y el recálculo se explican por cambios en los datos de actividad;** así como, por factores de emisión.

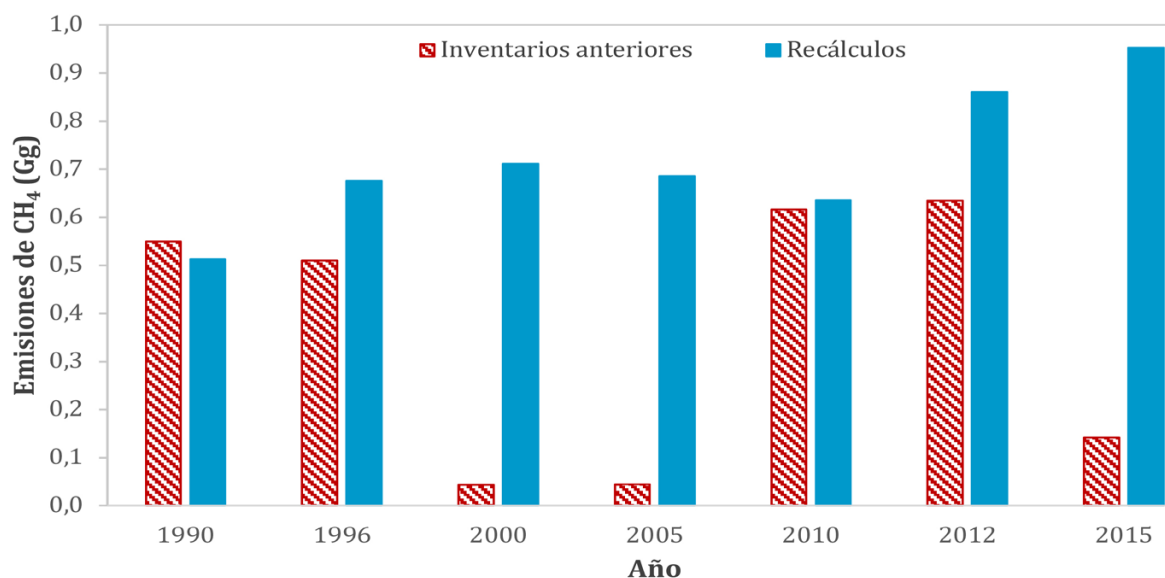


Figura 5.20 Recálculos de las emisiones de CH₄ de quemado de biomasa en tierras de cultivo (3.C.1b).

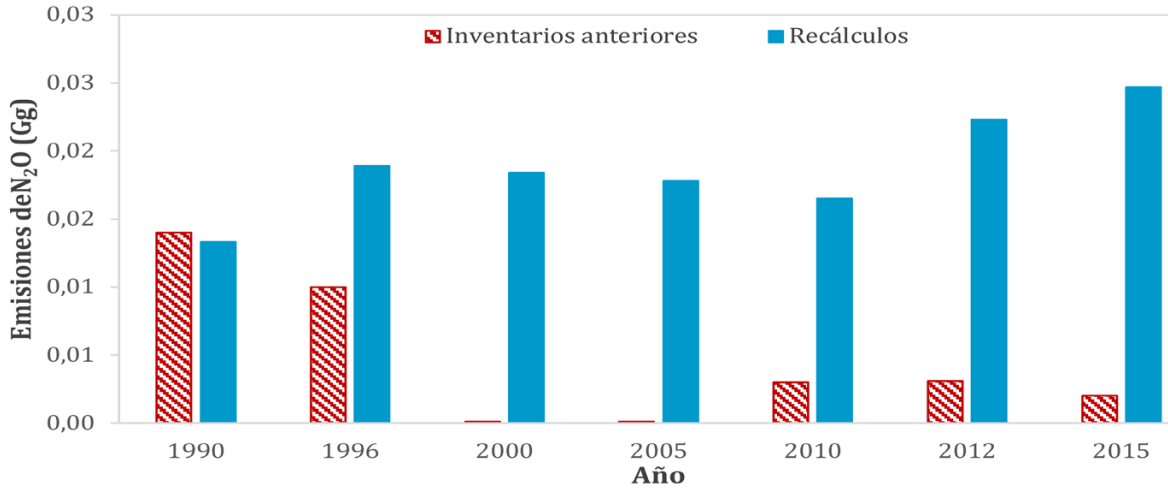


Figura 5.21 Recálculos de las emisiones de N₂O de quemado de biomasa en tierras de cultivo (3.C.1b).

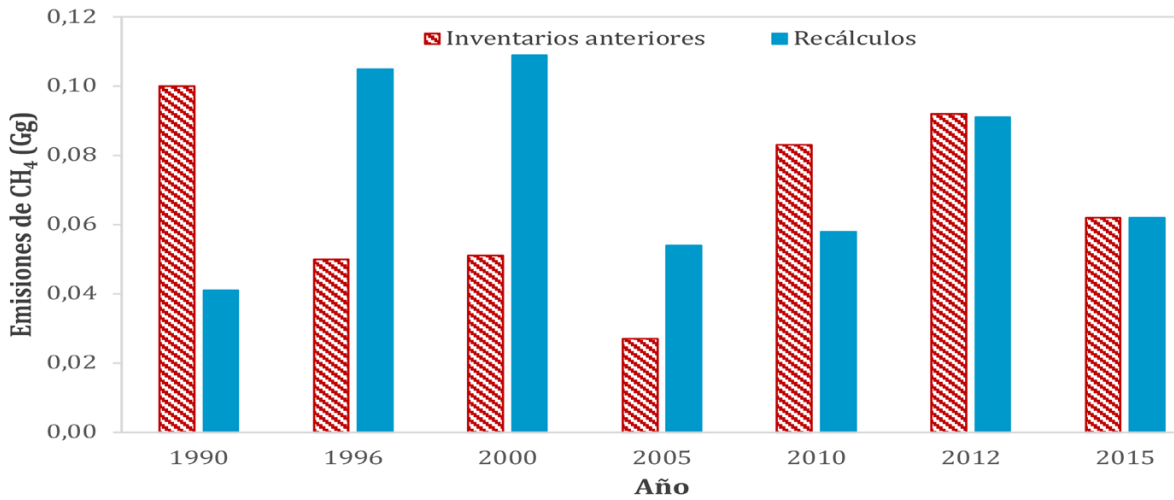


Figura 5.22 Recálculos de las emisiones de CH₄ de quemado de biomasa en pastizales (3.C.1c).

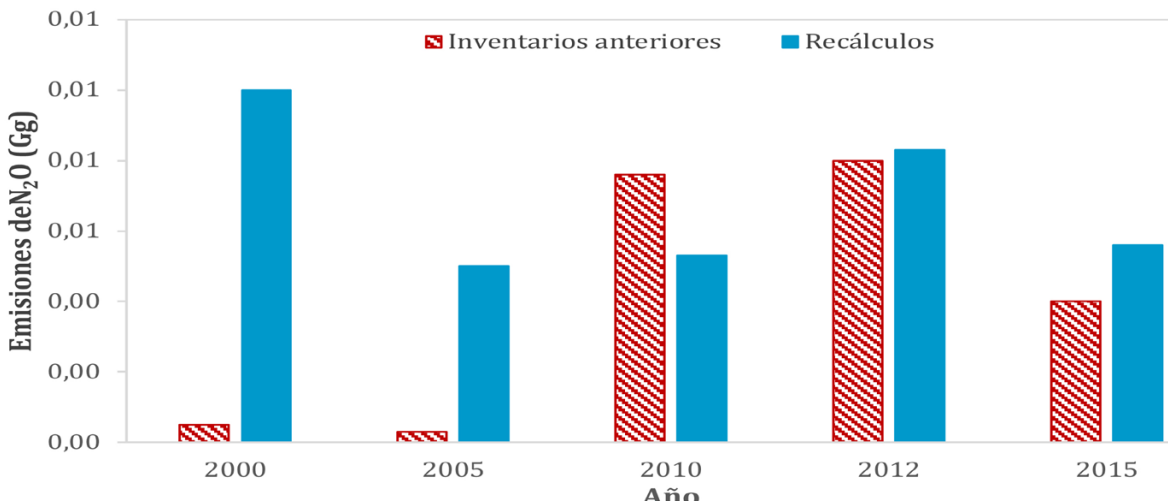


Figura 5.23 Recálculos de las emisiones de N₂O de quemado de biomasa en pastizales (3.C.1c).

5.4.6. Plan de mejora

No hay mejoras planeadas a corto plazo.

5.5. Emisiones de CO₂ por encalado (3.C.2)

5.5.1. Descripción de la categoría

El encalado se emplea para reducir la acidez del suelo y mejorar el crecimiento de los cultivos en sistemas gestionados, en particular en tierras agrícolas. El agregado de carbonatos a los suelos, en forma de cal (p. ej., piedra caliza cálcica (CaCO₃) o dolomita (CaMg(CO₃)₂) conduce a emisiones de CO₂, ya que las sales se disuelven y liberan bicarbonato (2HCO₃⁻), que se convierte en CO₂ y agua (H₂O).

La aplicación de enmiendas al suelo, como el carbonato de calcio (CaCO₃), no solo es una práctica recomendada para mejorar las condiciones de fertilidad del suelo, sino también bastante difundida a nivel nacional. La cantidad aplicada varía con la región, tipo de cultivo, y por supuesto, con el área sembrada y rentabilidad del sistema. La utilización de dolomita es baja.

En el 2017, se emitieron 65,9 Gg de CO₂, el cual es el valor más alto reportado desde 1990. En el período analizado se presentaron fluctuaciones en la emisión de CO₂ (Cuadro 5.25) como resultado de la aplicación de enmiendas al suelo combinadas con las variables antes mencionadas. En términos generales, tal como se observa en la Figura 5.24, la tendencia es a incrementarse la emisión.

Cuadro 5.26 Emisión de CO₂ derivado de la aplicación de CaCO₃ en los suelos agrícolas en Costa Rica

Fuente	Emisiones Anuales de CO ₂ (Gg)									
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2016	2017	
Encalado de suelos agrícolas*	47,3	56,8	60,3	59,5	61,7	61,2	63,3	64,3	65,9	

*Nota: No incluye pasturas

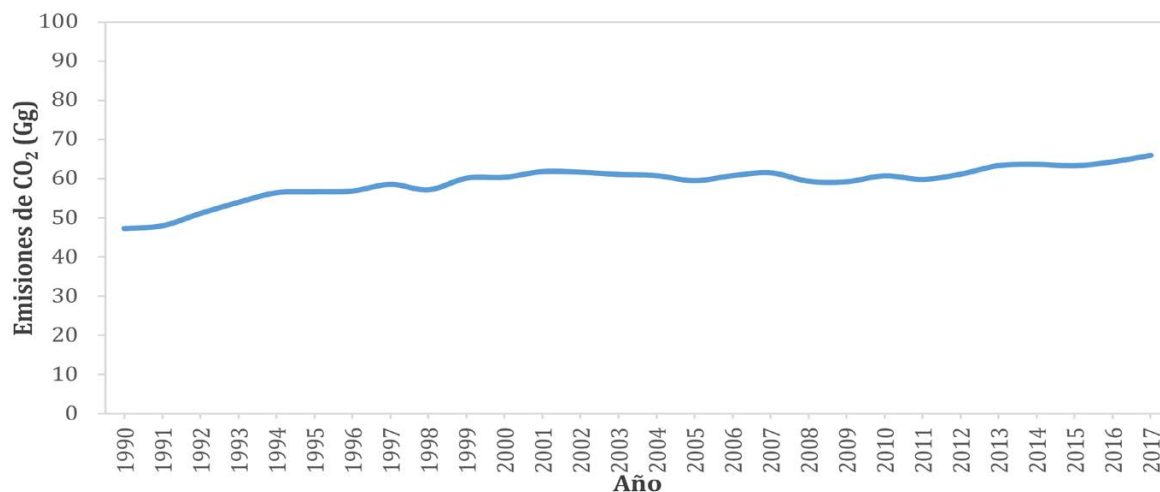


Figura 5.24 Tendencia histórica (1990-2017) de la emisión de dióxido de carbono por aplicación de enmiendas al suelo de los cultivos en Costa Rica.

La información básica para la estimación de la emisión se presenta en el cuadro 5.27

Cuadro 5.27 Información básica para la categoría 3.C.2

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1	EN	D

5.5.2. Metodología

La estimación de la emisión se realizó siguiendo el Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Específicamente, se utilizó la ecuación 5.9, que, aunque no es exactamente la que se muestra en las *Directrices*, da exactamente la misma estimación, ya que en ambos casos se asumen que el 100 % del carbono contenido en el CaCO₃ se oxida formando y liberando CO₂.

$$\text{Emisión de CO}_2 = M_{\text{Caliza}} * EF_{\text{Caliza}} \tag{5.9}$$

Donde:

M_{Caliza} = cantidad de caliza aplicada, Gg año

EF_{Caliza} = factor de emisión de la caliza, Gg CO₂/Gg Caliza

Dato de actividad

El dato de actividad, tanto para este inventario como para el recálculo de los anteriores, se obtuvo de estadísticas nacionales generadas por diversas instituciones representantes de los diversos sectores incluidos. Se logró determinar que se aplicaron 149886 toneladas de CaCO₃ en 2017.

Factor de emisión

Se utilizó el factor de emisión por defecto sugerido en las *Directrices del IPCC de 2006* cuyo valor es de 0,12 Gg de C Gg⁻¹ de CaCO₃

5.5.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

La misma metodología de cálculo fue aplicada para toda la serie temporal de los inventarios realizados hasta el momento; además, los mismos factores de emisión fueron aplicados. Los datos de actividad fueron obtenidos o estimados de la forma en que se indicó en la sección anterior.

Incertidumbre

Para la estimación de la incertidumbre por medio del método de propagación del error se usaron los valores mostrados en el cuadro 5.28. La suposición de que todo el carbono se oxida hace que al factor de emisión se le asignara un valor de incertidumbre tan alto.

Cuadro 5.28 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones de CO₂ por encalado

Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del factor de emisión (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
CO ₂	5	60	60,21

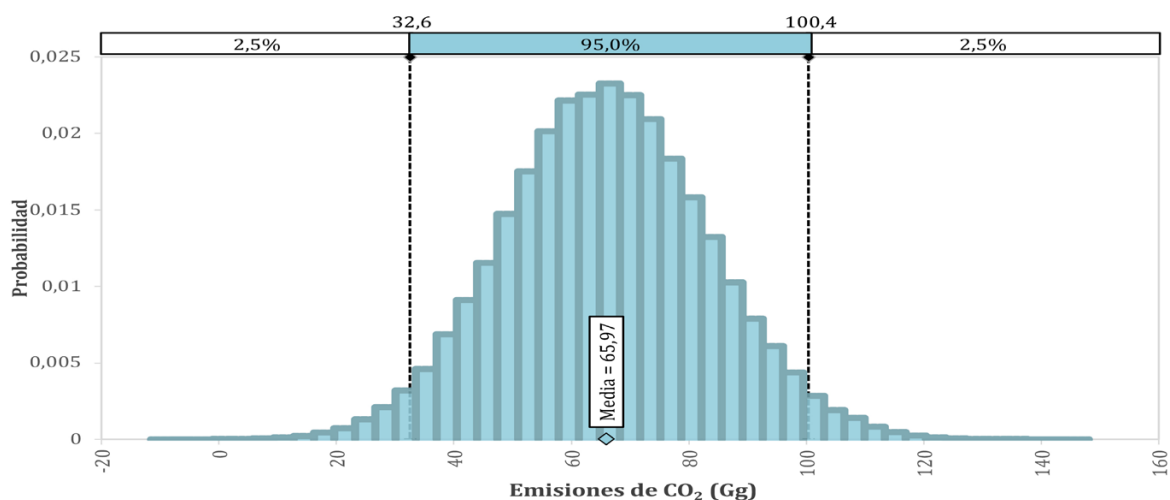


Figura 5.25 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de CO₂ de la categoría 3.C.2.

Para el caso de la simulación de Monte Carlo se usaron los mismos valores indicados en el cuadro 5.28, pero suponiendo que siguen una distribución normal. El resultado se muestra en la Figura 5.25 abajo.

5.5.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Además de los procedimientos generales de AC/CC que se aplica al inventario total nacional, se revisaron todos los parámetros utilizados y la aplicación correcta de todas las fórmulas.

5.5.5. Recálculos

Esta categoría fue estimada por primera vez en el INGEI de 2012, por lo que únicamente se presentan los recálculos para el 2012 y el 2015, en donde las diferencias mostradas en la Figura 5.26

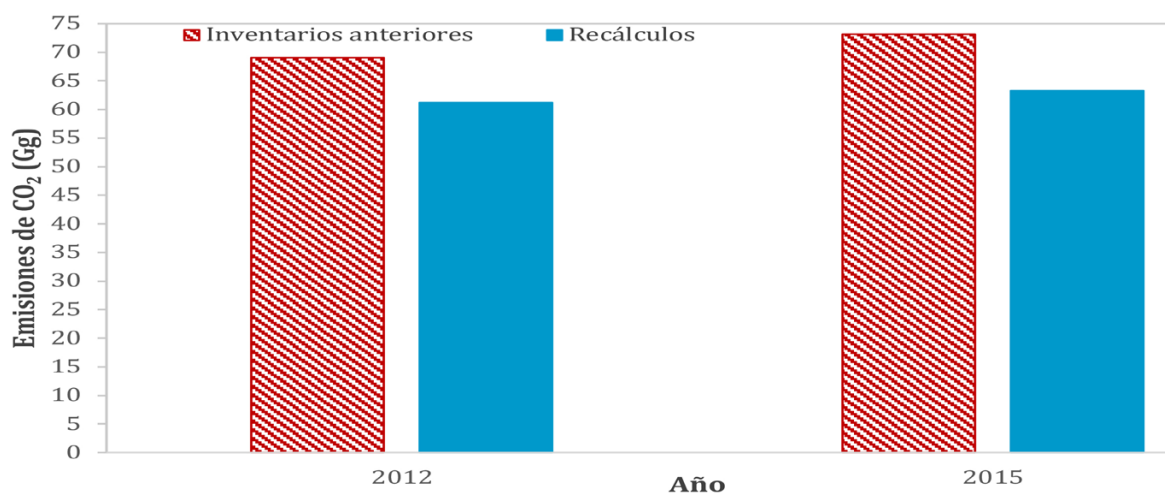


Figura 5.26 Recálculos para la categoría 3.C.2.

se deben a ajustes en los datos de actividad. Para el resto de los años, esta es la primera vez que se muestran estimaciones.

5.5.6. Plan de mejora

No se tienen mejoras planeadas en el corto plazo.

5.6. Emisiones directas de N₂O en los suelos gestionados (3.C.4)

5.6.1. Descripción de la categoría

La emisión de óxido nitroso se produce como resultado de varias condiciones, siendo la aplicación de fertilizantes nitrogenados una de las principales fuentes de este gas. También se deriva del nitrógeno liberado durante la descomposición de la materia orgánica y del fijado por las leguminosas, así como el incorporado en las excretas de los animales. Por estas últimas razones, el área total bajo una actividad específica influye en la cantidad de gas emitido.

En este sentido, variaciones en la proporción de las áreas bajo pasto naturalizado/pasto mejorado es lo que explica la variación observada en la emisión de las pasturas (Cuadro 5.29), además del cambio observado en el área total dedicada a la ganadería bovina.

Los cultivos también muestran este comportamiento (variaciones en el tiempo), lo cual es el resultado de cambios en las áreas sembradas, donde se da el caso de incrementos y disminuciones a lo largo del periodo analizado (Cuadro 5.29). Hay casos donde se da un incremento sostenido de la emisión como resultado del aumento del área sembrada, tal es el caso por ejemplo de la palma africana o de las frutas consideradas de manera agregada (Cuadro 5.29).

En 2017, la emisión total de esta categoría fue de 1,930 Gg de N₂O (560,8 Gg de CO₂ eq), siendo las pasturas mejoradas las que tienen mayor porción (33,6 %), seguido de la caña de azúcar (13,7 %).

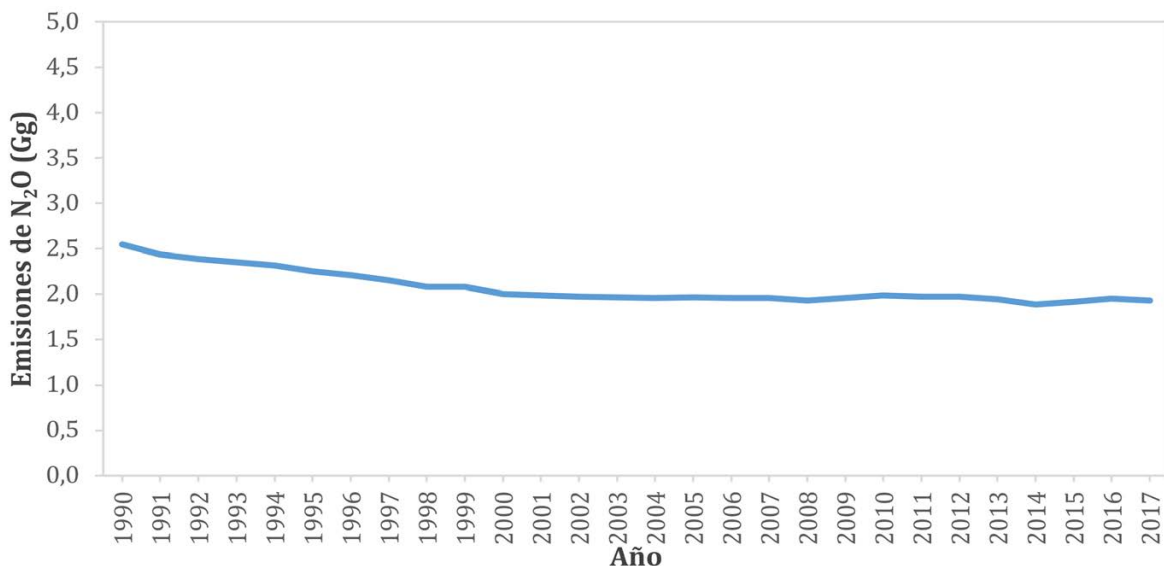


Figura 5.27 Tendencia histórica (1990-2017) de la emisión de óxido nitroso del sector agropecuario de Costa Rica.

Cuadro 5.29 Emisión de N₂O proveniente de diferentes cultivos y pasturas en Costa Rica

Fuente	Emisiones Anuales de N ₂ O (Gg)								
	1990	1996	2000	2005	2010	2012	2015	2016	2017
Café	0,220	0,207	0,203	0,190	0,182	0,180	0,168	0,174	0,181
Caña de azúcar	0,201	0,206	0,226	0,253	0,277	0,281	0,308	0,289	0,265
Banano	0,130	0,240	0,220	0,189	0,198	0,190	0,198	0,195	0,198
Plátano	0,019	0,031	0,038	0,031	0,045	0,041	0,045	0,045	0,045
Frutas ¹	0,038	0,078	0,088	0,097	0,101	0,109	0,126	0,129	0,132
Palma africana	0,047	0,057	0,082	0,104	0,118	0,131	0,143	0,149	0,159
Granos básicos ²	0,190	0,121	0,088	0,101	0,101	0,075	0,057	0,056	0,044
Hortalizas ³	0,008	0,009	0,014	0,016	0,016	0,017	0,022	0,022	0,020
Otros ⁴	0,040	0,048	0,042	0,047	0,044	0,042	0,033	0,040	0,041
Total cultivos	0,893	0,997	1,001	1,028	1,082	0,957	1,100	1,099	1,085
Brachiarias y otros mejorados ⁵	0,497	0,424	0,421	0,570	0,574	0,572	0,629	0,658	0,649
Naturalizados ⁶	1,158	0,789	0,581	0,372	0,335	0,334	0,190	0,196	0,196
Total pastos	1,655	1,213	1,002	0,942	0,909	0,906	0,819	0,854	0,845
Total en 3.C.4	2,548	2,210	2,003	1,970	1,991	1,972	1,919	1,953	1,930

¹ Naranja, limón, rambután, aguacate, papaya, mango, sandía, melón, mora, piña y fresa.

² Arroz, frijol y maíz.

³ Tomate, cebolla, papa, zanahoria, chayote, ayote, repollo, chile, culantro

⁴ Raíces y tubérculos, pimienta, tabaco, ornamentales, palmito, cacao, coco

⁵ Estrella, kikuyo y varias especies de Brachiaria.

⁶ Pasto natural, ratana, jaragua.

De manera general, la mayor emisión de este gas se presentó en 1990 y la menor en 2017, y la tendencia general observada en la Figura 5.27 indica una disminución histórica de las emisiones de N₂O. En el caso del agregado de los cultivos la tendencia ha sido al incremento: sin embargo, la emisión de este gas proveniente del suelo cubierto por pasturas ha disminuido significativamente desde 1990 (Cuadro 5.29) y, al ser proporcionalmente mayores, son las que marcan la tendencia de la categoría. Esa disminución observada ha sido, en promedio, de 0,027 Gg anuales, principalmente, como resultado de la drástica disminución del hato nacional observada en los noventa.

La información básica para la estimación de la emisión se presenta en el cuadro 5.30.

Cuadro 5.30 Información básica para la categoría 3.C.4

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
N ₂ O	Nivel 1/Nivel 2	EN	D/CS

5.6.2. Metodología

La estimación de la emisión se realizó siguiendo el Nivel 1, así como el Nivel 2 del *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Las ecuaciones utilizadas se muestran a continuación.

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - N_{N\ aportes} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP} \quad (5.10)$$

$$N_2O - N_{N\ aportes} = [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) * EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} * EF_{1FR}] \quad (5.11)$$

$$N_2O - N_{OS} = (F_{OS,CG,Temp} * EF_{2CG,Temp}) + (F_{OS,CG,Trop} * EF_{2CG,Trop}) + (F_{OS,F,Temp,NR} * EF_{2F,Temp,NR}) + (F_{OS,F,Temp,NP} * EF_{2F,Temp,NP}) + (F_{OS,F,Trop} * EF_{2F,Trop}) \quad (5.12)$$

$$CH_4\ arroz = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} * t_{i,j,k} * A_{i,j,k} * 10^{-6}) \quad (5.13)$$

Donde:

$N_2O_{Directas} - N$ = emisiones directas anuales de N_2O-N producidas a partir de suelos gestionados, kg N_2O-N año⁻¹

$N_2O-N_{aportes\ N}$ = emisiones directas anuales de N_2O-N producidas por aportes de N a suelos gestionados, kg N_2O-N año⁻¹

N_2O-N_{OS} = emisiones directas anuales de N_2O-N de suelos orgánicos gestionados, kg N_2O-N año⁻¹

N_2O-N_{PRP} = emisiones directas anuales de N_2O-N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo, kg N_2O-N año⁻¹

F_{SN} = cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético, kg N año⁻¹

F_{ON} = cantidad anual de estiércol animal, compost, lodos cloacales y otros aportes de N aplicada a los suelos (Nota: Si se incluyen los barros cloacales, realizar una verificación cruzada con el Sector Desechos para asegurarse de que no hay cómputo doble de las emisiones de N_2O del N contenido en los barros cloacales), kg N año⁻¹

F_{CR} = cantidad anual de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N y la renovación de forraje/pastura, que se regresan a los suelos, kg N año⁻¹

F_{SOM} = cantidad anual de N en suelos minerales que se mineraliza, relacionada con la pérdida de C del suelo de la materia orgánica del suelo como resultado de cambios en el uso o la gestión de la tierra, kg N año⁻¹

F_{OS} = superficie anual de suelos orgánicos gestionados/drenados, ha (Nota: los subíndices CG, F, Temp, Trop, NR y NP se refieren a Tierras de cultivo y Pastizales, Tierras forestales, Templado, Tropical, Rico en nutrientes y Pobre en nutrientes, respectivamente).

F_{PRP} = cantidad anual de N de la orina y el estiércol depositada por los animales en pastoreo sobre pasturas, prados y praderas, kg N año⁻¹ (Nota: los subíndices CPP y SO se refieren a Vacunos, Aves de corral y Porcinos, y a Ovinos y Otros animales, respectivamente).

EF_1 = factor de emisión para emisiones de N_2O de aportes de N, kg N_2O-N (kg aporte de N)⁻¹

EF_{1FR} = es el factor de emisión para emisiones de N_2O de aportes de N en plantaciones de arroz inundadas, kg N_2O-N (kg aporte de N)⁻¹

EF_2 = factor de emisión para emisiones de N_2O de suelos orgánicos drenados/gestionados, kg N_2O-N ha⁻¹ año⁻¹ (Nota: los subíndices CG, F, Temp, Trop, NR y NP se refieren a Tierras de

cultivo y Pastizales, Tierras forestales, Templado, Tropical, Rico en nutrientes y Pobre en nutrientes, respectivamente).

EF_{3PRP} = factor de emisión para emisiones de N_2O del N de la orina y el estiércol depositado en pasturas, prados y praderas por animales en pastoreo, $kg\ N_2O-N\ (kg\ aporte\ de\ N)^{-1}$ (Nota: los subíndices CPP y SO se refieren a Vacunos, Aves de corral y Porcinos, y a Ovinos y Otros animales, respectivamente).

Las actividades en las cuales se utiliza el Nivel 2 son: café, banano, plátano, arroz anegado, caña de azúcar, y pastos.

Dato de actividad

Los datos de actividad para todos los inventarios realizados hasta el momento se obtuvieron de estadísticas de las siguientes instituciones: Instituto del Café (ICAFE), Corporación Bananera Nacional (CORBANA), Corporación Arrocería Nacional (CONARROZ), Liga Agrícola Industrial de la Caña de Azúcar (LAICA). También se utilizó el resultado de encuestas y censos realizados por la Corporación de Fomento Ganadero (CORFOGA) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Para el 2017 los datos de actividad se encuentran en el cuadro 5.31.

Factor de emisión y otros parámetros

La emisión de óxido nitroso de algunos cultivos permanentes (café, caña de azúcar y banano) se realizó utilizando factores de emisión que provienen de investigaciones efectuadas en el país. Para los restantes cultivos se utiliza el factor de emisión por defecto sugerido por el IPCC.

5.6.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

La misma metodología fue aplicada para toda la serie temporal; además, los mismos factores de emisión fueron aplicados. Los datos de actividad fueron obtenidos o estimados de la forma en que se indicó en la sección anterior.

Incertidumbre

Para la incertidumbre por propagación del error se utilizaron los valores mostrados en el cuadro 5.32.

Cuadro 5.31 Datos de actividad para la categoría 3.C.4

Cultivo o pastura	Área (ha)
Café	93968
Caña de azúcar	55303
Banano	42857
Plátano	10000
Frutas ¹	95794
Palma africana	76860
Granos básicos ²	59878
Hortalizas ³	9169
Otros ⁴	28252
Mejorados ⁵	798659
Naturalizados ⁶	237684
Total	1508424

¹ Naranja, limón, rambután, aguacate, papaya, mango, sandía, melón, mora, piña y fresa.

² Arroz, frijol y maíz.

³ Tomate, cebolla, papa, zanahoria, chayote, ayote, repollo, chile, culantro

⁴ Raíces y tubérculos, pimienta, tabaco, ornamentales, palmito, cacao, coco

⁵ Estrella, kikuyo y varias especies de Brachiaria.

⁶ Pasto natural, ratana, jaragua.

Cuadro 5.32 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones de N_2O de la categoría 3.C.4

Fuente	Incertidumbre de los datos de la actividad ($\pm\%$)	Incertidumbre del factor de emisión ($\pm\%$)	Incertidumbre combinada ($\pm\%$)
Cultivos	10	20	22,36
Pastos	10	50	50,99

Para el caso de la simulación de Monte Carlo se usaron los valores mostrados en el cuadro 5.33, asumiendo distribuciones normales y se obtuvieron los valores mostrados en las Figuras 5.28 y 5.29.

Cuadro 5.33 Datos para la simulación de Monte Carlo de la categoría 3.C.4

Cultivo o pastura	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del factor de emisión (±%)
Café	10	20
Caña de azúcar	10	35
Banano	10	5
Plátano	10	5
Frutas ¹	10	50
Palma africana	10	50
Granos básicos ²	10	50
Hortalizas ³	10	50
Otros ⁴	10	50
Mejorados ⁵	10	10
Naturalizados ⁶	10	10

¹ Naranja, limón, rambután, aguacate, papaya, mango, sandía, melón, mora, piña y fresa.

² Arroz, frijol y maíz.

³ Tomate, cebolla, papa, zanahoria, chayote, ayote, repollo, chile, culantro

⁴ Raíces y tubérculos, pimienta, tabaco, ornamentales, palmito, cacao, coco

⁵ Estrella, kikuyo y varias especies de Brachiaria.

⁶ Pasto natural, ratana, jaragua.

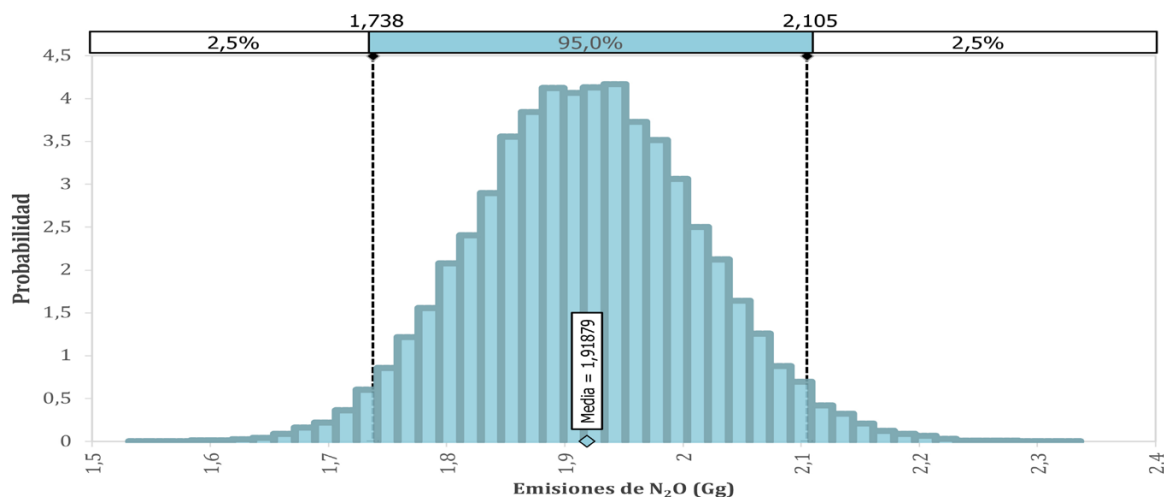


Figura 5.28 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de N₂O de la categoría 3.C.4

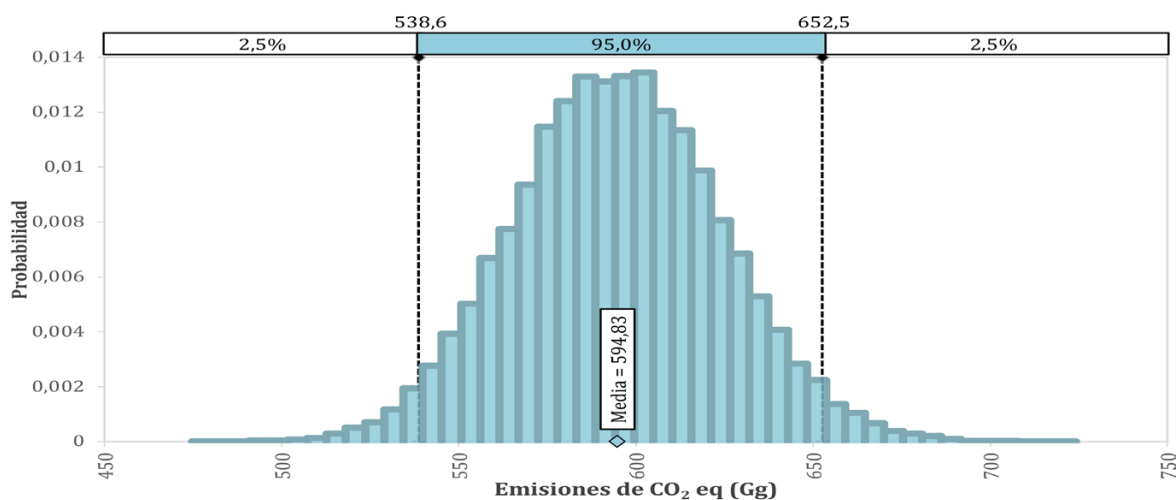


Figura 5.29 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 3.C.4 expresadas como CO₂ eq

5.6.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Igual a la sección 5.3.4.

5.6.5. Recálculos

Los cambios observados en la Figura 5.30 se deben a cambios en factores de emisión y datos de actividad.

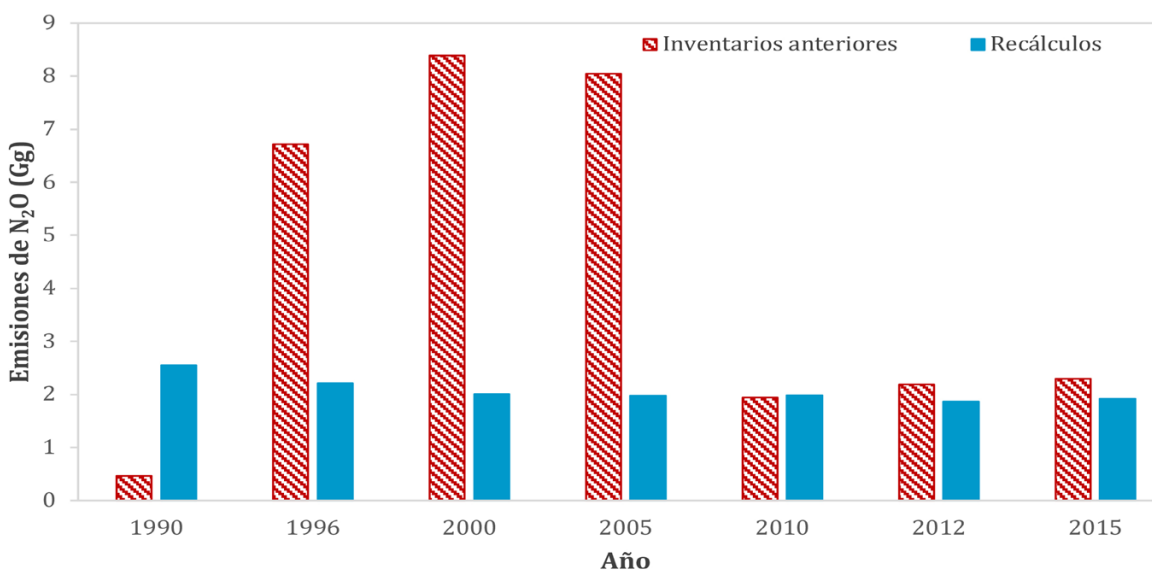


Figura 5.30 Recálculos para la categoría 3.C.4.

5.6.6. Plan de mejora

Se avanzará en la estimación de las emisiones indirectas de N₂O.

5.7. Cultivo de arroz (3.C.7)

5.7.1. Descripción de la categoría

El metano en el cultivo del arroz se produce por la fermentación anaeróbica de la materia orgánica, condición que se presenta en la modalidad bajo anegamiento. En este sistema de producción, el cultivo permanece inundado por un largo periodo del ciclo de crecimiento y es durante esta etapa donde se genera y libera el metano. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, la cantidad anual de CH₄ emitido desde una superficie dada de arroz estará en función de la cantidad y la duración de los cultivos de que se trate, de los regímenes hídricos previos al período de cultivo, y, en el transcurso de éste, de los abonos orgánicos e inorgánicos del suelo. El tipo de suelo, la temperatura y el cultivar del arroz también afectan las emisiones de CH₄.

En Costa Rica, el área de siembra de arroz inundado no es constante y depende mayormente de las perspectivas de precio, incluyendo otras como aquellas ligadas con el financiamiento. Por esa razón, las áreas sembradas con arroz inundado fluctúan en el tiempo, y de la misma manera lo hace la emisión de metano (Figura 5.31). En 2017 las emisiones de CH₄ en esta categoría fueron 10,41 Gg (Cuadro 5.34).

Cuadro 5.34 Emisión de CH₄, proveniente del arroz anegado en Costa Rica

Arroz anegado	1990	1996	2000	2005	2010	2015	2016	2017
CH ₄ (Gg)	10,10	10,24	14,22	11,19	11,71	12,47	10,98	10,41

La emisión más baja se ha estimado para 2008 (muy similar a la de 2006), mientras que la mayor se observó en el 1999, los cuales corresponden a los años con la menor y mayor área sembrada en el período referenciado.

La información básica para la estimación de la emisión se presenta en el cuadro 5.35.

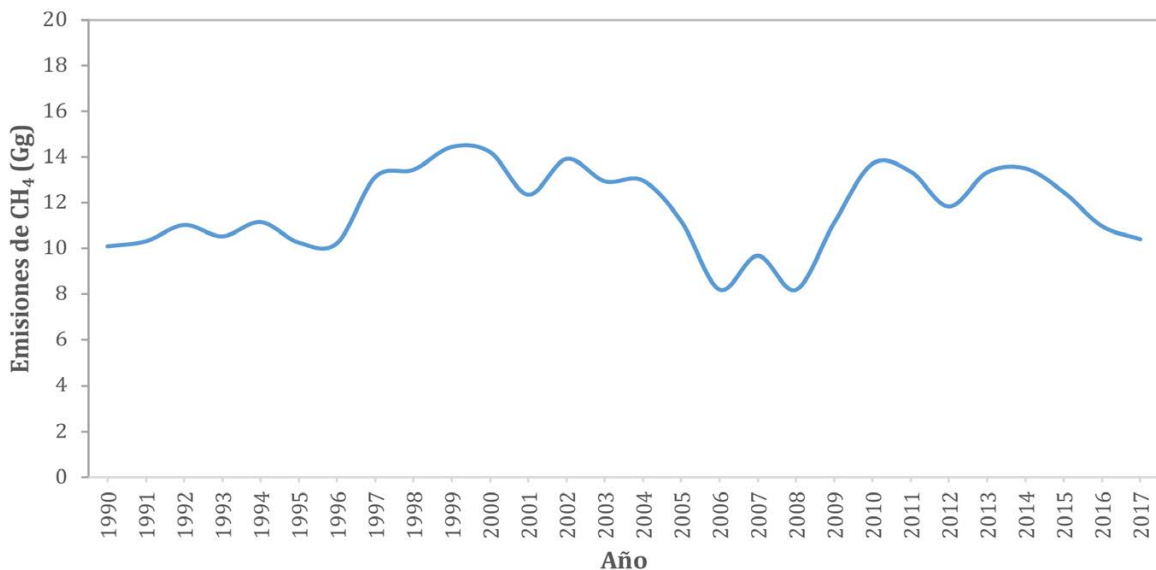


Figura 5.31 Emisiones de la categoría 3.C.7 en el período 1990-2017

Cuadro 5.35 Información básica para la categoría 3.C.7

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CH ₄	Nivel 2	EN	CS

5.7.2. Metodología

La estimación de la emisión se realizó siguiendo el Nivel 2 del *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Para realizar la estimación se utilizó la ecuación 5.14, cuyo enfoque es aplicable tanto a Nivel 1 como a Nivel 2, diferenciándose en el uso de un factor de emisión por defecto (Nivel 1) o un factor de emisión nacional (Nivel 2) como el caso de Costa Rica.

$$CH_{4\text{arroz}} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} * t_{i,j,k} * A_{i,j,k} * 10^{-6}) \quad (5.14)$$

Donde:

CH₄arroz = emisiones anuales de metano producidas por el cultivo de arroz, Gg.

EF_{i,j,k} = factor de emisión diario para las condiciones i, j y k, kg CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

t_{i,j,k} = período de cultivo de arroz para las condiciones i, j y k, días.

A_{i,j,k} = superficie de cosecha anual de arroz para las condiciones i, j y k, ha año⁻¹

i, j, k = representan los ecosistemas, regímenes hídricos, tipo y cantidad de abonos orgánicos y otras condiciones que puedan variar las emisiones de CH₄.

Dato de actividad

La información del dato de actividad, tanto para este inventario como para los pasados, se obtuvo de informes anuales de CONARROZ. El área cosechada en el año 2017 fue de 17561 hectáreas.

Factor de emisión

La implementación de investigación directa en el campo de arroz inundado, por parte de Montenegro y Abarca (2001), permitió la obtención del factor de emisión específico para el país, el cual tiene un valor de 4,94 kg ha⁻¹ día⁻¹

5.7.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

La misma metodología fue aplicada para toda la serie temporal; además, el mismo factor de emisión fue aplicado.

Incertidumbre

Tanto para la incertidumbre por propagación del error como para la simulación de Monte Carlo se usaron los valores mostrados en el cuadro 5.36. Para Monte Carlo se asume una distribución normal para ambos parámetros. Los resultados se muestran en las figuras 5.32 y 5.33.

Cuadro 5.36 Incertidumbres para las emisiones de CH₄ de la categoría 3.C.7

Fuente	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del factor de emisión (±%)	Incertidumbre combinada (±%)
CH ₄ en arroz	10	10	14,14

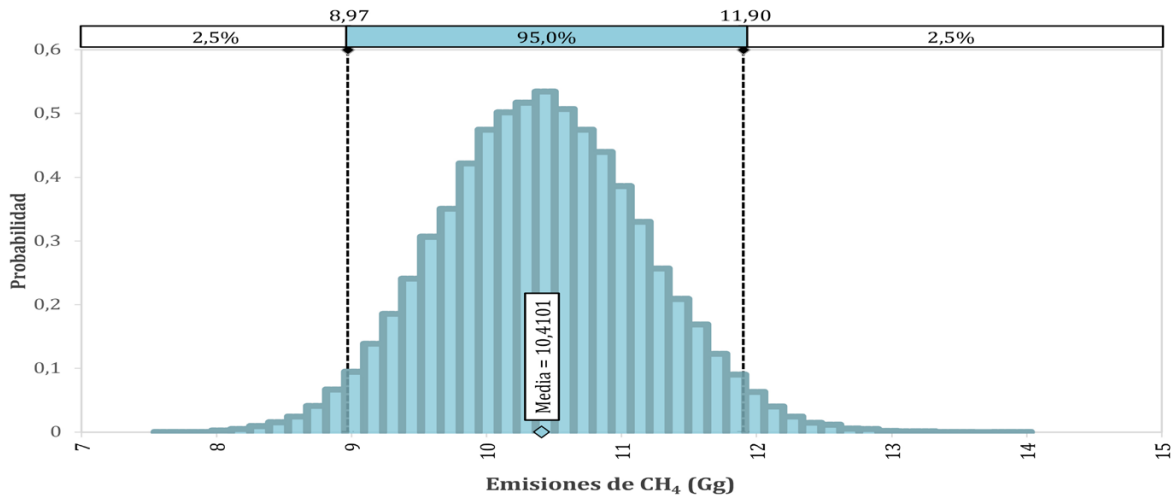


Figura 5.32 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 3.C.7

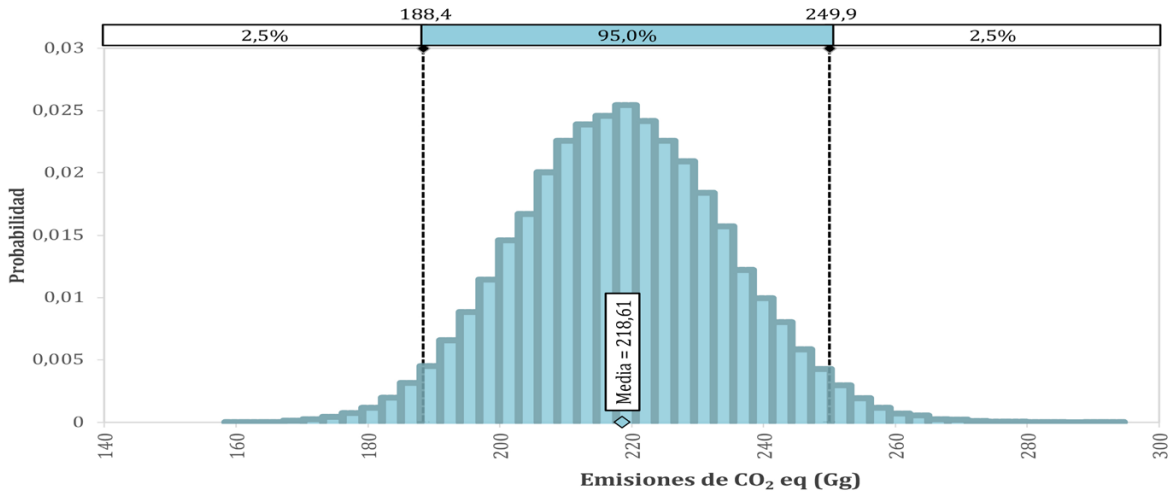


Figura 5.33 Histograma de la simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 3.C.7 expresadas como CO₂ eq

5.7.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Igual a la sección 5.3.4.

5.7.5. Recálculos

Para esta categoría se ha venido usando el mismo factor de emisión desde el INGEI de 1996. Para el INGEI de 1990 se había utilizado un factor de 5,90 kg ha⁻¹ día⁻¹. Las diferencias para los otros años mostrados en la Figura 5.34 se deben a cambios en los datos de actividad.

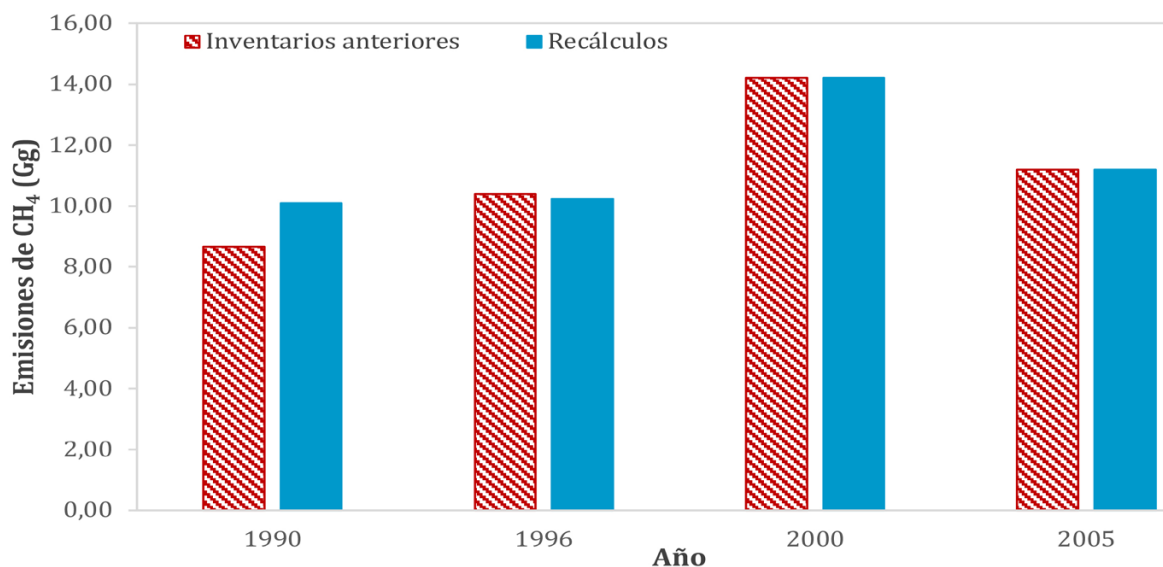


Figura 5.34 Recálculos para la categoría 3.C.7

5.7.6. Plan de mejora

Por ahora no se planean mejoras para esta categoría.

5.8. Incertidumbre del sector

La incertidumbre combinada del sector usando propagación del error es de 10,7%.

Al combinar los datos por medio de simulaciones de Monte Carlo, se obtuvieron los valores de emisiones mostrados de la Figura 5.35 a la 5.38 por gas y el total del sector como CO₂ equivalente con sus respectivos valores de incertidumbre a un 95 % de confianza. En total, como se muestra en la Figura 5.38, se obtuvo una media de 2969 Gg de CO₂ eq con valores que pueden ir desde 2835 Gg de CO₂ eq hasta 3125 Gg de CO₂ eq.

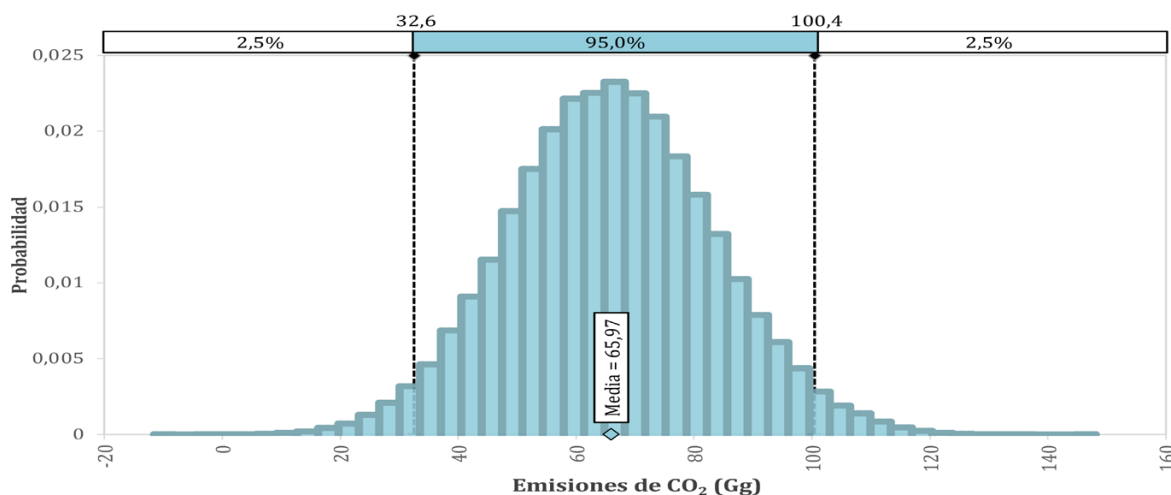


Figura 5.35 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CO₂ del sector agricultura

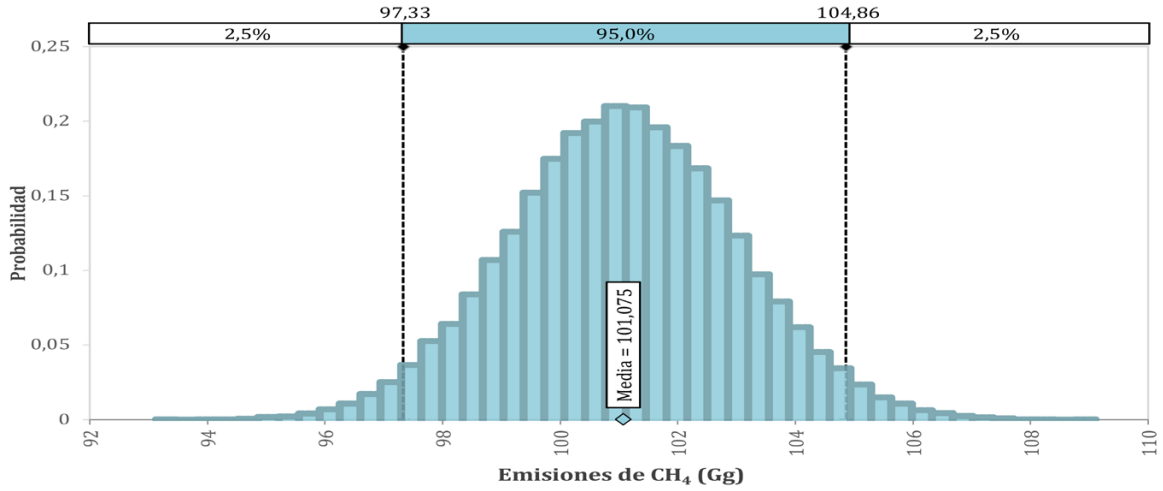


Figura 5.36 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CH₄ del sector agrícola

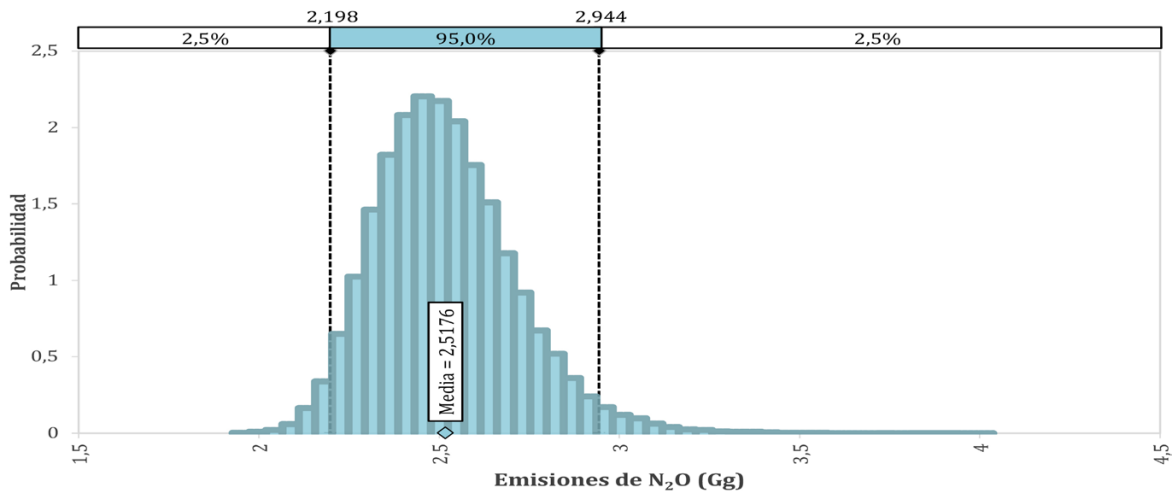


Figura 5.37 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de N₂O del sector agrícola

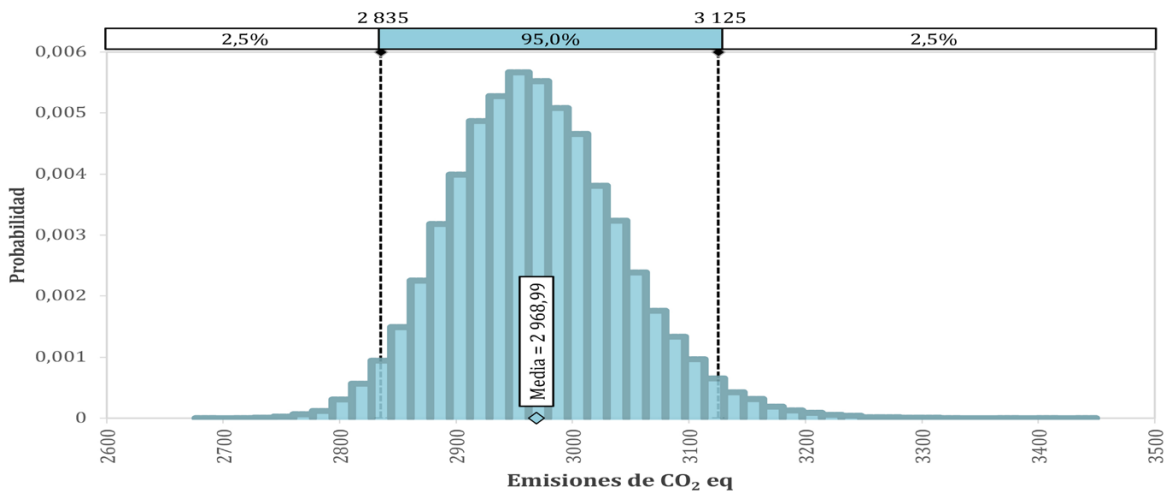


Figura 5.38 Simulación de Monte Carlo de las emisiones totales del sector agricultura expresadas como CO₂ eq

5.9. Recálculos del sector

Al agrupar los recálculos de todas las categorías mostrados anteriormente se puede observar, en la Figura 5.39, que la mayor diferencia fue en 1996, 2000 y 2005, donde los recálculos son 36 % menores a los valores reportados anteriormente. A partir del 2010 los valores son similares.

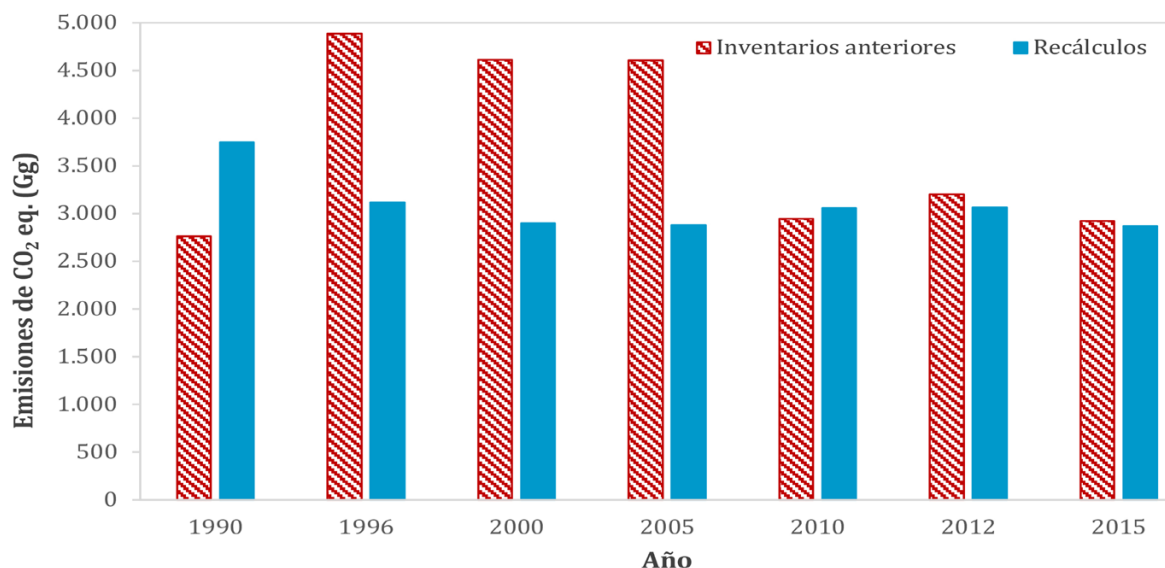


Figura 5.39 Recálculos para el sector agricultura.

5.10. Plan de mejora del sector

No se han detectado mejoras generales, además de las indicadas específicamente en cada categoría.

5.11. Emisiones de otros gases precursores

En 2017, en el sector agricultura se contabilizaron las emisiones de carbono negro debidas a la quema de biomasa, las cuales se muestran en el cuadro 5.37.

Cuadro 5.37 Emisiones de carbono negro en el sector agricultura en Costa Rica en el 2017

Categoría	Carbono negro (Gg)
3.C.1 Emisiones de la quema de biomasa en cultivos	0,022
3.C.1 Emisiones de la quema de biomasa de caña	0,066
3.C.1 Emisiones de la quema de biomasa en pastizales	0,046
Total sector agricultura	0,134

6. SECTOR SILVICULTURA Y OTROS USOS DE LA TIERRA

6.1. Panorama del sector

6.1.1. Introducción

En el sector silvicultura y uso de la tierra (FOLU) se reportan emisiones positivas (fuentes) y negativas (sumideros) de dióxido de carbono dados en los reservorios de carbono producto del uso, gestión y cambio de uso de la tierra gestionada. De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, estas se dividen en seis usos de la tierra: tierras forestales, tierras de cultivo, pastizales, humedales, asentamientos y otras tierras.

En el caso de los asentamientos que permanecen como tales, no se consideran las emisiones debidas a las pérdidas de biomasa de las ramas que se quitan durante la poda o los recortes del césped, pues éstas son eliminadas como residuos sólidos que van a vertederos, por lo que las emisiones se contabilizan en el sector Residuos. Asimismo, a nivel nacional no se cuentan con factores de emisión sobre el crecimiento de los árboles en estas tierras que sigan alguno de los métodos sugeridos en las *Directrices del IPCC de 2006*.

En lo referido a otras tierras se incluye el páramo y el terreno descubierto. En ambos casos, no se presentan emisiones en otras tierras que permanecen como tales, y según el mapa de cobertura de la tierra (Anexo L) no se presentan tierras que se conviertan en otras tierras.

Además de los diferentes usos de la tierra, las siguientes fuentes de emisión y absorción también son incluidas en el siguiente inventario: emisiones por quemado de biomasa en tierras forestales (plantaciones forestales y bosques secundarios) y absorciones y emisiones de CO₂ generadas en productos de madera recolectada. En el cuadro 6.1 se resumen las categorías incluidas en este inventario y los gases cuantificados.

Las fuentes de información utilizadas en el presente inventario comprendieron principalmente las estadísticas

Cuadro 6.1 Categorías estimadas en el sector Silvicultura y Otros Usos de la Tierra

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
3.B. Tierra			
3.B.1. Tierras forestales	X		
3.B.2 Tierras de cultivo	X		
3.B.3 Pastizales	X		
3.B.4 Humedales		X	
3.B.5 Asentamientos	NE		
3.B.6 Otras tierras	NE/NO		
3.C. Fuentes agregadas y fuentes no CO₂ de la tierra			
3.C.1 Emisiones de GHG por quemado de biomasa		X	X
3.D.1 Productos de madera recolectada	X		

forestales nacionales, los mapas de cobertura de la tierra (Anexo L) y datos de carbono almacenado y fijado por tipo de bosque y uso de la tierra en los cuatro reservorios considerados.

Los reservorios de carbono considerados fueron: biomasa aérea y subterránea, materia orgánica muerta y hojarasca. El detalle de cada uno de estos se encuentra en el cuadro 6.2.

Cuadro 6.2 Reservorios de carbono considerados en la estimación de las emisiones y absorciones de GEI para el sector FOLU. Fuente: IPCC, 2006

Depósito	Descripción
Biomasa	<p>Biomasa aérea</p> <p>Toda la biomasa de la vegetación viva, tanto maderera como herbácea, que se halla por encima del suelo, incluidos tallos, cepas, ramas, corteza, semillas y follaje.</p> <p>Nota: En los casos en los que el sotobosque sea un componente menor del depósito de carbono de la biomasa aérea, es aceptable que se lo excluya para las metodologías y los datos asociados que se utilizan en ciertos niveles, siempre que éstos se empleen de manera coherente a lo largo de toda la serie temporal del inventario.</p>
	<p>Biomasa subterránea</p> <p>Toda la biomasa de las raíces vivas. A menudo, las raíces finas, de menos de 2 mm de diámetro (sugerido), se excluyen porque, empíricamente, no se las puede distinguir de la materia orgánica del suelo o de la hojarasca.</p>
Materia orgánica muerta	<p>Madera muerta</p> <p>Incluye toda la biomasa leñosa no viviente que no está contenida en la hojarasca, ya sea en pie, tendida en el suelo o enterrada. La madera muerta incluye la madera tendida en la superficie, las raíces muertas y las cepas de 10 cm de diámetro o más (o del diámetro especificado por el país).</p>
	<p>Hojarasca</p> <p>Incluye toda la biomasa no viva con un tamaño mayor que el límite establecido para la materia orgánica del suelo (sugerido 2 mm) y menor que el diámetro mínimo elegido para la madera muerta (p. ej. 10 cm), que yace muerta, en diversos estados de descomposición por encima o dentro del suelo mineral u orgánico. Incluye la capa de hojarasca como se la define habitualmente en las tipologías de suelos. Las raíces vivas finas por encima del suelo mineral u orgánico (por debajo del diámetro mínimo límite elegido para la biomasa subterránea) se incluyen con la hojarasca cuando no se las puede distinguir de esta última empíricamente.</p>

6.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector

En 2017, el sector silvicultura y otros usos de la tierra resultó en un sumidero neto de CO₂ al absorber de manera neta -2968,35 Gg CO₂ eq, debido a que la cantidad de emisiones producidas en el sector fueron menores al total de remociones. Además, el sector disminuyó las emisiones en un 110 % respecto a 1990 y un 688 % respecto al año del último inventario (2015). Los datos de emisiones o absorciones para los años anteriores de inventario y los últimos 7 años se muestran en el cuadro 6.3.

Desde 1990, las emisiones producto de la deforestación para abrir paso a pastizales y tierras de cultivos ha venido disminuyendo en el país, mientras que las absorciones por regeneración de bosques secundarios han aumentado (Figura 6.1). Dicho comportamiento, ha sido producto de las políticas forestales que el país ha implementado, en especial a partir de la entrada en vigor de la Ley Forestal 7575 en 1997 (vigente a la fecha). Esta prohibió en todo el territorio costarricense el

Cuadro 6.3 Emisiones (+) y absorciones (-) del sector Silvicultura y otros usos de la tierra (en Gg de CO₂ eq) para inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

Categoría de fuente de GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3.B.1. Tierras forestales	-1492,4	-2219,7	-2993,6	-2452,9	-2919,3	-3814,0	-4943,7	-4610,6	-5057,8	-3468,8	-2826,2	-4280,9
3.B.2. Tierras de cultivo	5687,0	1198,0	5118,6	1028,5	1371,4	1406,3	1886,3	1970,9	2297,7	2339,3	876,9	909,1
3.B.3. Pastizales	24838,8	11236,1	15597,7	7206,4	5740,0	5798,8	7676,8	7815,4	1820,6	1853,4	700,8	700,9
3.B.4. Humedales	45,9	45,9	45,9	45,9	45,9	45,9	45,9	45,9	45,9	45,9	45,9	49,3
3.B.5. Asentamientos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3.B.6. Otras tierras	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3.C.1.a. Quemadas de biomasa forestal	33,9	79,4	27,8	5,5	45,0	14,3	111,4	172,3	42,8	131,5	137,1	55,6
3.D.1. Productos de madera recolectada	-9,3	-41,5	-140,9	-442,2	-477,7	-374,9	-486,1	-392,9	-440,1	-396,3	-395,6	-402,4
Total	29103,9	10298,0	17655,5	5391,4	3805,3	3076,4	4290,6	5001,0	-1290,9	505,1	-1461,1	-2968,4

cambio de uso de bosques hacia otros usos y dio origen al Programa Pago por Servicios Ambientales como mecanismo para la protección y regeneración del bosque y la promoción de la reforestación (Asamblea Legislativa de Costa Rica. 1996).

A pesar de dichas medidas, el país experimentó durante el periodo 1998 – 2000 un incremento en las emisiones producto de la ampliación de tierras de cultivo y pastizales (Figura 6.1). Dicho comportamiento se relacionó al aprovechamiento de madera en terrenos de uso agropecuario, a través de la conversión de bosques que sufrieron socola a potreros para obtener madera de bajo costo, ya que la nueva legislación introdujo mayores regulaciones para planes de aprovechamiento en bosques, no así en áreas sin bosque (MINAE, SINAC, FUNDECOR, 2001; Espinoza, 2008; Sandí, 2008). Esto se

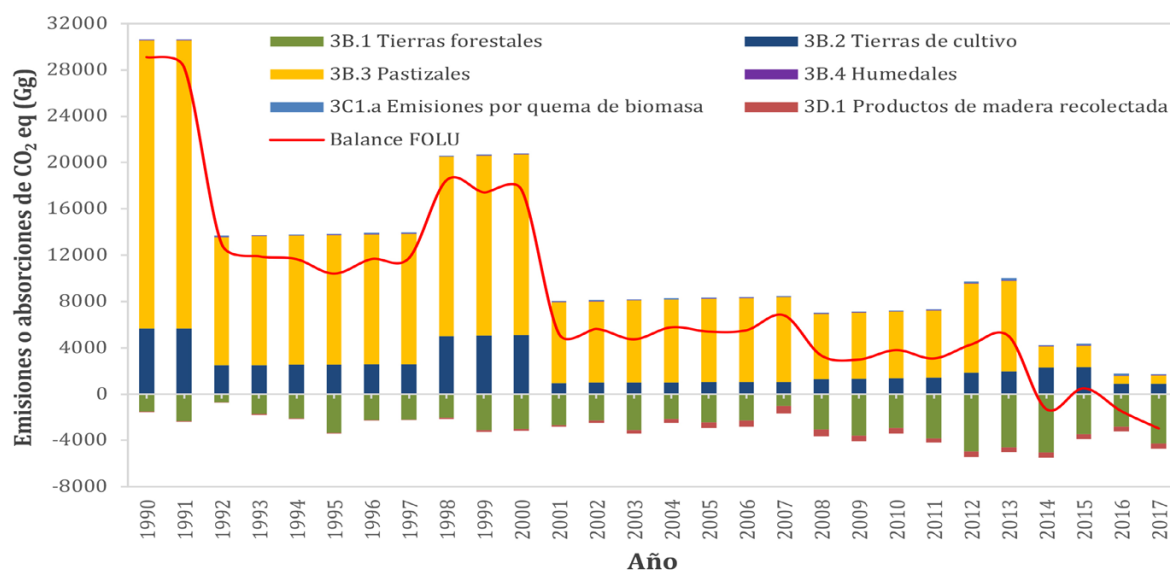


Figura 6.1 Emisiones (+) y absorciones (-) netas de CO₂ eq para el sector FOLU por categoría de uso de la tierra para el periodo 1990-2017.

trajeron a la ejecución de la Estrategia Nacional para el Control de la Deforestación y Tala Ilegal que en el primer lustro de los 2000 tuvo efecto en la reducción de hasta un 65 % de las emisiones estimadas en FOLU (Figura 6.1). Posteriormente, la permanencia de un porcentaje de emisiones producto de la conversión de tierras forestales a pastizales y tierras de cultivo ha estado incentivado, en parte, por la expansión de cultivos permanentes como la piña (Fagan et al., 2013).

En cuanto a las emisiones y absorciones de GEI de 2017, en términos absolutos por categoría, el 64 % corresponde a tierras forestales, el 14 % a tierras de cultivo, el 11 % a pastizales, y el 6 % a productos de madera recolectada. El restante 2 % se distribuye equitativamente entre las quemaduras de biomasa forestal y humedales (Figura 6.2).

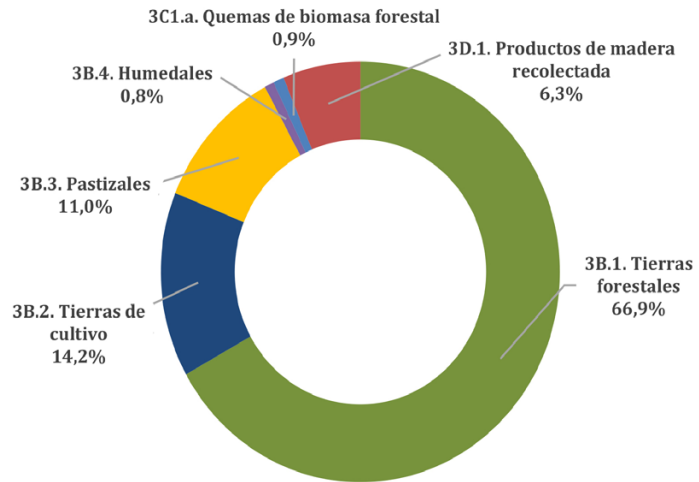


Figura 6.2 Distribución relativa por categoría de uso de la tierra de las emisiones y absorciones absolutas del sector silvicultura y otros usos de la tierra en 2017

6.1.3. Aspectos metodológicos del sector

La estimación de las emisiones y absorciones de GEI del sector FOLU se llevó a cabo siguiendo las *Directrices del IPCC de 2006* para la elaboración de inventarios nacionales de emisiones, específicamente, el Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Para todos los usos de la tierra se emplearon ya sea el método de nivel 1 o 2; además, para los factores de emisión se utilizaron datos específicos del país como por defecto. En el cuadro 6.4 se muestran la información básica del método y factores de emisión para cada categoría reportada en este sector.

6.2. Definiciones de uso de la tierra y los sistemas de clasificación utilizados

Para el inventario de GEI, las tierras gestionadas y no gestionadas de Costa Rica se clasificaron siguiendo la definición de usos de tierras dada por las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.2.1. Tierras forestales

En esta categoría se incluyen todas las tierras con vegetación boscosa con diferentes umbrales y estructuras, específicamente se incluyeron las mostradas en el cuadro 6.5.

6.2.2. Tierras de cultivo

Esta categoría comprende las tierras cultivadas. Se divide en dos subcategorías: tierras de cultivos anuales y tierras de cultivos permanentes (Cuadro 6.6).

Cuadro 6.4 Reporte de emisiones y remociones de GEI, métodos de cálculo y factores de emisión empleados en el sector FOLU

Categoría	Cambio en las existencias reportado	Emisiones reportadas	Métodos	Factores de emisión
3B.1. Tierras forestales				
Biomasa viva aérea y subterránea	Carbono / CO ₂		Nivel 1 y Nivel 2	CS, D
Materia orgánica muerta	Carbono / CO ₂		Nivel 1 y Nivel 2	CS, D
Carbono orgánico del suelo	Carbono / CO ₂		NE	NE
3B.2. Tierras de cultivo				
Biomasa viva aérea y subterránea	Carbono / CO ₂		Nivel 1 y Nivel 2	CS, D
Materia orgánica muerta	Carbono / CO ₂		Nivel 2	CS
Carbono orgánico del suelo	Carbono / CO ₂		NE	NE
3B.3. Pastizales				
Biomasa viva aérea y subterránea	Carbono / CO ₂		Nivel 1 y Nivel 2	D
Materia orgánica muerta	Carbono / CO ₂		Nivel 1	D
Carbono orgánico del suelo	Carbono / CO ₂		NE	NE
3B.4. Humedales				
Tierras inundadas		CH ₄	Nivel 1	D
3B.5. Asentamientos				
Biomasa viva aérea y subterránea	Carbono / CO ₂		Nivel 1	NE
Materia orgánica muerta	Carbono / CO ₂		Nivel 1	NE
Carbono orgánico del suelo	Carbono / CO ₂		NE	NE
3B.6. Otras tierras				
Biomasa viva aérea y subterránea	Carbono / CO ₂		Nivel 1	NE
Materia orgánica muerta	Carbono / CO ₂		Nivel 1	NE
Carbono orgánico del suelo	Carbono / CO ₂		NE	NE
3C1.a. Quemadas de biomasa forestal				
Biomasa viva aérea y subterránea		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Nivel 1 y Nivel 2	CS, D
Materia orgánica muerta		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	Nivel 1 y Nivel 2	CS, D
Carbono orgánico del suelo		CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O	NE	NE
3D.1. Productos de madera recolectada	Carbono / CO ₂		Nivel 2	CS, D

6.2.3. Pastizales

Esta categoría integra las tierras dedicadas a la ganadería, principalmente, e incluyen pastos naturales, pastos mejorados, pastos de corte y sistemas silvopastoriles (INEC, 2015). Estos pueden tener presencia de árboles esparcidos o cercas vivas que por su composición y estructura no sobrepasan los umbrales establecidos para la definición de las tierras forestales. Además, incluyen tierras con pastos que se encuentran entremezcladas, en proporciones similares, con pequeñas áreas de cultivo, ya sea estacional o permanente.

Cuadro 6.5 Definición de las categorías, subcategorías y estratos empleados para la clasificación de las tierras forestales

Categoría	Subcategoría	Estrato	Definición
Tierras Forestales	Bosque primario	Muy húmedo y pluvial	Para la definición de bosque primario y secundario se siguió los umbrales establecidos en la Ley Forestal 7575 de Costa Rica y El Código de prácticas de los estándares de sostenibilidad para el manejo de los bosques secundarios (Decreto N° 39952-MINAE, 2016). Para la definición de los estratos por tipos de bosque se agruparon las 24 zonas vida según Holdridge (1966) y se relacionaron con las vertientes caribe y pacífica. En el caso del manglar y yolillal, la definición se basó en las clasificaciones espectrales del material remoto empleado. Adicionalmente, los bosques secundarios se dividieron, en cohortes y clases de edad (MINAE, 2016).
		Húmedo	
		Seco	
		Manglar	
		Yolillal (bosque de palmas)	
	Bosque secundario	Muy húmedo y pluvial	
		Húmedo	
		Seco	
		Manglar	
		Yolillal (bosque de palmas)	
Tierras Forestales	Plantaciones forestales	Teca	Se definen plantaciones forestales como los terrenos de una o más hectáreas, cultivados de una o más especies forestales cuyo objetivo principal, pero no único, será la producción de madera (Ley Forestal 7575). La división por especies se orientó siguiendo el listado de la Dirección General Forestal (DGF) y el FONAFIFO (Martínez, 2014).
		Melina	
		Pino	
		Ciprés	
		Acacia	
		Cebo	
		Jaúl	
		Eucalipto	
		Laurel	
		Pochote	
Otras*			

*Incluye: pilón, amarillón, cedro, roble, botarrama

Cuadro 6.6 Definición de las categorías y subcategorías empleadas en la clasificación de las tierras de cultivo

Categoría	Subcategoría	Definición
Tierras de cultivo	Cultivos anuales	Cultivos que presentan un ciclo vegetativo de un año o menos. Estos abarcan siembras de: arroz, frijol, maíz, yuca, melón, papa, tiquisque, sandía, ñampí, ñame, cebolla, tomate, ayote, chile, lechuga, entre otros.
	Cultivos permanentes	Cultivos con ciclo vegetativo que dura más de un año y que su cosecha se realiza sin destruir la planta. Estos abarcan: la caña de azúcar (que se corta o se quema, pero el rizoma permanece en el suelo volviendo a regenerar), el café, el banano, la palma africana, los cítricos, el cacao, entre otros.

6.2.4. Humedales

Estas tierras albergan áreas cubiertas o saturadas de agua durante todo el año o parte de este (por ejemplo, las turberas) y que no está dentro de las categorías de tierras forestales, tierras de cultivo, pastizal o asentamientos. Se componen de ecosistemas con dependencia de regímenes acuáticos, naturales o artificiales, permanentes o temporales, lénticos o lóticos, dulces, salobres o salados, incluyendo las extensiones marinas hasta el límite posterior de fanerógamas marinas o arrecifes de coral o, en su ausencia, hasta seis metros de profundidad en marea baja (Ley Orgánica del Ambiente, 1995). Solamente, se consideran tierras de humedales gestionados las tierras inundadas, correspondientes en el país a los embalses para la producción de energía hidroeléctrica.

6.2.5. Asentamientos

Esta categoría incluye toda la tierra ocupada por infraestructura urbana (por ejemplo: carreteras, edificios, residencias, industrias, áreas de recreo, entre otra), y comprende los asentamientos humanos de cualquier tamaño. En estas áreas no hay cobertura vegetal significativa.

6.2.6. Otras tierras

Las otras tierras se consideran no gestionadas y se dividen en tierras desnudas y páramo (Cuadro 6.7).

Cuadro 6.7 Definición de las categorías, subcategorías y estratos empleadas en la clasificación de otras tierras

Categoría	Subcategoría	Estrato	Definición
Otras tierras	Tierras desnudas	Artificial	Tierras con área desnuda, roca, arena, con o sin vegetación suficiente para ser considerados en alguna de las clases anteriores. Se presenta el afloramiento de roca o un tipo de vegetación herbácea y arbustiva pobremente desarrollada.
		Natural	Comprende área de cráteres volcánicos, deslizamientos y áreas de deposición de materiales en ríos, volcanes y minas.
	Páramo		Se consideran tierras con vegetación arbustiva y herbácea con dominancia de bambú del género chúsquea y que crece a 3100 metros de elevación (Programa REDD+/CCAD-GIZ-SINAC, 2015).

6.3. Métodos utilizados para la representación de las tierras

Para la representación de las tierras se utilizó la clasificación generada por el Nivel de Referencia de REDD+ (MINAE, 2016). Esta incluye una clasificación espectral del material remoto y, posteriormente, una estratificación en las categorías, subcategorías y estratos de uso de la tierra incluidos dentro del sector FOLU, el detalle de los procesos se muestra en el cuadro 6.8.

Cuadro 6.8 Procesos empleados en la clasificación de las tierras del sector FOLU para el INGEI de Costa Rica 1990-2017. Fuente: MINAE, 2016

Proceso	Descripción
Preprocesamiento	
Selección de imágenes satelitales	Se obtuvieron imágenes Landsat (Landsat 4 TM, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM and Landsat 8 OLI/TIRS) con baja cobertura de nubes. En algunos casos fue necesario seleccionar escenas de diferentes años entre un rango de 14 meses.
Registro	Todas las imágenes fueron registradas bajo el sistema de coordenadas CRTM05. Para ello se obtuvo un error medio cuadrático en los puntos de control menor a 30 m. Estos puntos provinieron de ortofotos del país de 2005.
Normalización radiométrica	A todas las imágenes se les aplicó el método IR-MAD (Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection).
Clasificación	
Metodología	Se aplicó el método de Random Forest.
Entrenamiento del clasificador de Random Forest	Se crearon sitios de entrenamiento aleatorios para homogenizar las áreas, para lo que se utilizaron las siguientes fuentes de información: red de muestreo sistemático del Inventario Nacional Forestal (n=10.000), imágenes de alta resolución RapidEye para el 2013, y material remoto de Google Earth.
VARIABLES del clasificador Random Forest	20 variables se emplearon para ajustar el clasificador utilizando información de las bandas espectrales, índices de vegetación, textura de las imágenes satelitales, y otras asociadas al modelo de elevación digital.
Procesamiento posterior	
Unidad mínima de mapeo	La clasificación digital se filtró para representar las categorías de uso de la tierra con una unidad mínima de mapeo de 0,99 ha.
Edición Manual	Para mejorar las áreas mapeadas de los usos de la tierra, se realizaron ediciones empleando material auxiliar de otras fuentes de información. En el caso de las plantaciones de café se utilizó material del Ministerio de Agricultura (MAG) y el ICAFE. Se crearon máscaras para la delimitación de manglares, yolillales (bosques de palmas) y páramo siguiendo el Inventario Nacional Forestal y la visualización de imágenes satelitales RapidEye. Las tierras de asentamientos se editaron manualmente mediante interpretación de imágenes satelitales RapidEye y se creó una máscara de estas. Para asignar los bosques secundarios por tipo de bosque se creó un mapa de tipos de bosque potencial utilizando la combinación de las zonas de vida.

6.4. Tierras forestales (3.B.1)

6.4.1. Descripción de la categoría

En 2017, las tierras forestales abarcaron una superficie de 3104814,73 ha, donde el 70,81 % correspondió a bosques primarios que permanecieron como tales, el 26,19 % a bosques secundarios que permanecieron como tales y el 3 % a plantaciones forestales. El restante porcentaje se distribuyó entre las áreas que sufrieron perturbaciones por disturbios naturales, pérdidas de biomasa por remoción de madera y tierras convertidas en bosques secundarios durante el periodo 2015-2017.

Cabe destacar que en esta categoría se incluyen las emisiones y absorciones de CO₂ y no-CO₂, generadas por los cambios en la biomasa, materia orgánica muerta y carbono del suelo en Tierras forestales que permanecen como tales y en Tierras convertidas en tierras forestales, bajo gestión.

Según las *Directrices del IPCC de 2006*, las tierras forestales gestionadas son las que se consideran en la contabilidad del inventario de GEI.

En el contexto costarricense las fuentes de emisiones y absorciones incluidas son:

Absorciones por incremento de biomasa forestal de:

- Plantaciones forestales por especies.
- Bosques secundarios según tipo de bosque (muy húmedo y pluvial, húmedo, seco, manglar y yolillal (bosque de palmas).

Emisiones por:

- Remoción de madera de plantaciones forestales.
- Incendios forestales en plantaciones forestales y bosque secundarios por tipo de bosque.
- Eliminación de biomasa cuando se realizan conversiones de uso de la tierra a tierras forestales.

6.4.2. Tendencia de las emisiones

En 2017, el balance de GEI registró una absorción neta de -4280,88 Gg de CO₂ eq, de las cuales el 97 % correspondió a tierras forestales que permanecen como tales (Figura 6.3). Durante toda la serie temporal el balance es favorable a la absorción. Estas aumentaron en un 187 % y 23 % respecto a 1990 y 2015 (Cuadro 6.9). Dicho comportamiento ha sido influenciado, mayoritariamente, por el crecimiento de los bosques secundarios. Actualmente, las tierras forestales es la única categoría de uso de la tierra que presenta condición de sumidero, el resto son emisores netos de GEI.

Cuadro 6.9 Tierras forestales: balance de emisiones y absorciones de GEI (Gg CO₂ eq) por subcategoría, serie 1990-2017

Tierras forestales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
3.B.1a Tierras forestales que permanecen como tales	-787,3	-1119,5	-2089,4	-1999,0	-1822,8	-2717,5	-1357,6	-1025,1	-4615,4	-3026,5	-2707,1	-4161,7
Tierras convertidas en tierras forestales	-705,1	-1100,3	-904,2	-453,9	-1096,5	-1096,5	-3586,2	-3585,5	-442,3	-442,3	-119,2	-119,2
Balance	-1492,4	-2219,7	-2993,6	-2452,9	-2919,3	-3814,0	-4943,7	-4610,6	-5057,8	-3468,8	-2826,2	-4280,9

6.4.2.1. TIERRAS FORESTALES QUE PERMANECEN COMO TALES

Se consideran como tierras forestales que permanecen como tales aquellas tierras gestionadas que, durante los periodos de evaluación, continúan en el uso de la tierra. Para el 2017, el balance de GEI se estableció en los -4161,74 Gg CO₂ eq (Cuadro 6.10), incrementando su condición de sumidero en un 429 % y 38 % desde 1990 y 2015, respectivamente, tal como se muestra en la Figura 6.4.

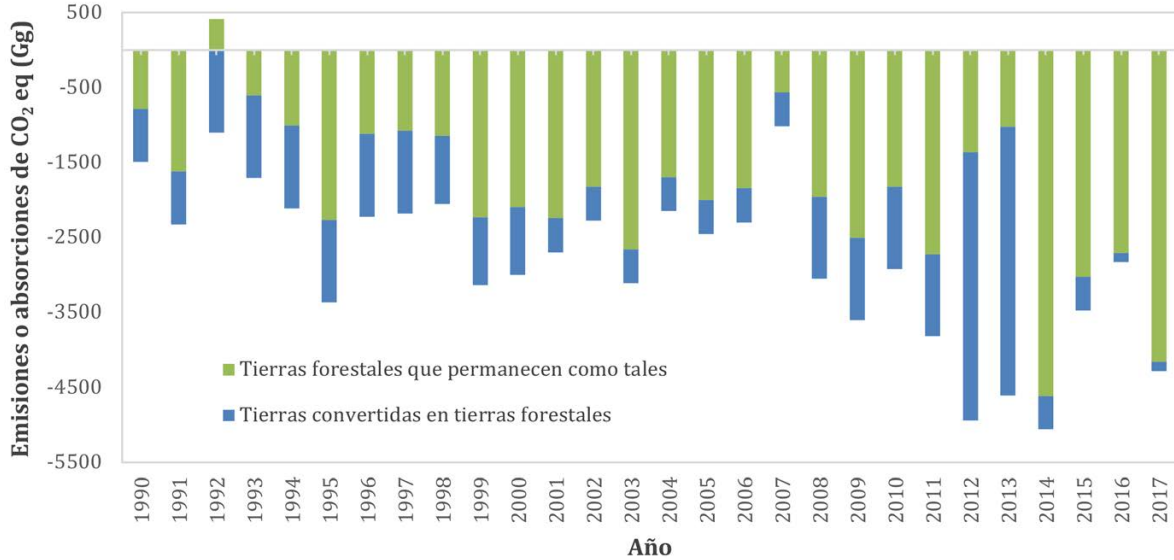


Figura 6.3 Emisiones y absorciones de GEI ocurridas en tierras forestales que permanecen como tales y tierras convertidas en tierras forestales para la serie temporal 1990-2017.

Cuadro 6.10 Balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) por estrato de la subcategoría de tierras forestales que permanecen como tales para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

Tierras forestales que permanecen como tales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Crecimiento de bosques secundarios	-1291,3	-1894,8	-1786,6	-2245,8	-3065,4	-3191,8	-4020,3	-4670,4	-6222,4	-6104,5	-6051,1	-5873,6
Crecimiento de plantaciones forestales	-216,0	-871,9	-1147,0	-797,7	-732,7	-733,2	-701,7	-681,4	-322,4	-471,0	-324,8	-419,2
Pérdidas por disturbios naturales	692,4	1545,1	535,8	111,7	868,4	273,5	2206,9	3331,0	825,9	2518,1	2626,0	1066,7
Pérdidas por remoción de madera (Plantaciones forestales)	27,5	102,1	308,3	932,8	1106,9	933,9	1157,6	995,7	1103,6	1030,9	1042,8	1064,4
Balance	-787,3	-1119,5	-2089,4	-1999,0	-1822,8	-2717,5	-1357,6	-1025,1	-4615,4	-3026,5	-2707,1	-4161,7

En términos absolutos, el crecimiento de los bosques secundarios representó el 70 % de las emisiones y absorciones de GEI, seguido por las pérdidas de biomasa por remoción de madera y disturbios naturales con 13 % cada uno. El restante 5 % fue acaparado por el crecimiento de las plantaciones forestales. La Figura 6.4 muestra la tendencia de las emisiones para las tierras forestales que permanecen como tales en el período 1990-2017.

6.4.2.1.1. CRECIMIENTO DE BOSQUES SECUNDARIOS

En 2017, las emisiones y absorciones de CO₂ eq de este componente contabilizaron -5873,63 Gg de CO₂ eq, incrementando en un 355 % desde 1990 y disminuyendo en un 4 % desde 2015 (Cuadro 6.11). El principal causante del aumento de las absorciones es el incremento de la biomasa del bosque húmedo y muy húmedo y pluvial, los cuales representan el 61 % y 34 % de las absorciones por crecimiento de bosques secundarios en 2017, respectivamente.

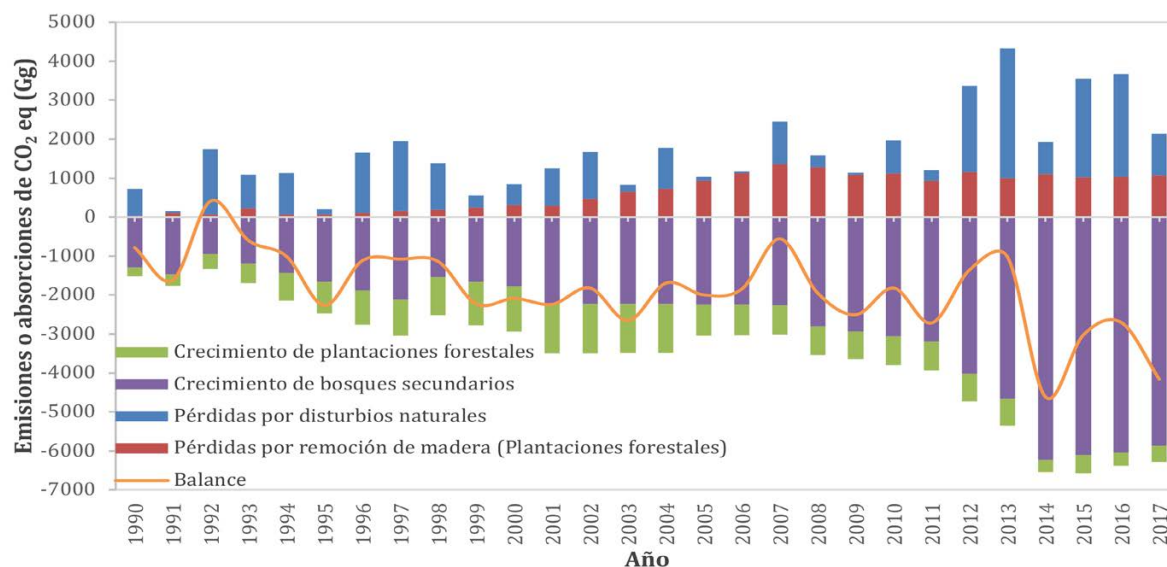


Figura 6.4 Emisiones y absorciones por estrato de la subcategoría de tierras forestales que permanecen como tales para la serie 1990-2007.

Cuadro 6.11 Balance de emisiones y absorciones de los bosques secundarios que permanecieron como tales para los años de INGEI de Costa Rica

Crecimiento de bosques secundarios	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bosque húmedo	-763,4	-1285,5	-1002,2	-882,1	-1565,3	-1698,3	-2367,6	-2775,0	-3833,8	-3768,2	-3728,8	-3600,4
Bosque muy húmedo y pluvial	-438,7	-424,0	-543,1	-1088,3	-1237,5	-1238,6	-1402,8	-1641,9	-2119,4	-2069,2	-2051,3	-2009,3
Bosque seco	-58,6	-136,4	-182,6	-209,8	-192,9	-183,6	-177,6	-169,0	-169,0	-164,1	-166,7	-160,7
Manglar	-12,2	-21,1	-21,6	-23,3	-24,6	-25,2	-25,3	-27,3	-30,9	-33,4	-35,4	-35,3
Yolillal	-18,3	-27,9	-37,2	-42,3	-45,0	-46,3	-47,2	-57,2	-69,4	-69,6	-68,9	-68,0
Balance	-1291,3	-1894,8	-1786,6	-2245,8	-3065,4	-3191,8	-4020,3	-4670,4	-6222,4	-6104,5	-6051,1	-5873,6

Si bien los bosques secundarios han mantenido un aumento en su capacidad de absorción, estos no han estado exentos de la presión por agentes externos. De esta manera, entre el periodo 1998-2000, como se observa en la Figura 6.5, su capacidad de sumidero se redujo, lo cual coincidió con la entrada en vigor de la Ley Forestal 7575 y el aumento de la tala ilegal. A partir del 2000, su condición aumentó y se mantuvo relativamente estable hasta el 2008, año desde el que ha incrementado su capacidad hasta el 2015. Esto ha sucedido producto del esfuerzo que el país ha realizado por aumentar su cobertura. Por otro lado, a partir de 2014, se refleja una disminución en la cantidad de absorciones debidas, en parte, a que muchos de los bosques secundarios entran en edades avanzadas donde la capacidad de absorción tiende a disminuir.

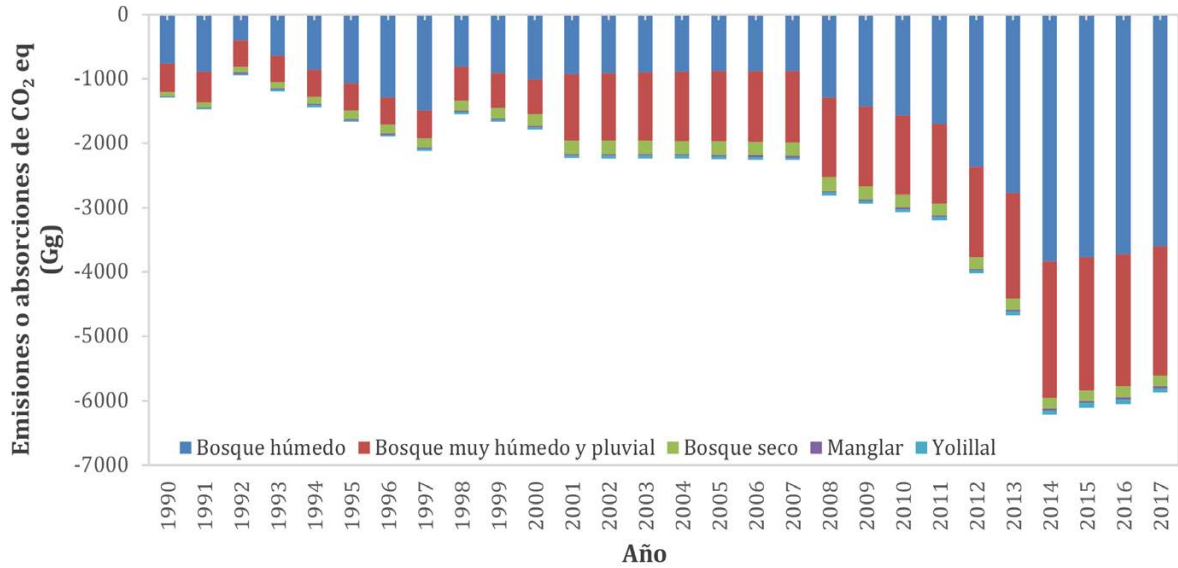


Figura 6.5 Emisiones y absorciones de los bosques secundarios que permanecieron como tales para la serie 1990-2017.

6.4.2.1.2. CRECIMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES

Las plantaciones forestales, en 2017, contabilizaron -419,23 Gg de absorciones de CO₂ eq, incrementando en un 94 % desde 1990 y disminuyendo en un 11 % desde 2015 (Cuadro 6.12). Las plantaciones de teca son las que mayor proporción de absorción acapararon con el 48 %, seguidas por la melina y otras especies con el 23 % y 15 %, respectivamente.

Cuadro 6.12 Balance de emisiones y absorciones de GEI (Gg CO₂ eq) de las plantaciones forestales por especie en Costa Rica

Crecimiento de plantaciones forestales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Acacia	NO	NO	NO	-0,33	-3,04	-3,21	-3,09	-3,00	-3,00	-8,31	-7,95	-7,54
Cebo	NO	-0,59	-1,81	-3,31	-9,04	-7,07	-9,92	-10,55	-10,84	-19,21	-18,55	-17,78
Ciprés	-5,26	-14,75	-16,13	-10,66	-8,82	-9,01	-8,59	-7,28	-6,39	-6,18	-4,62	-3,40
Eucalipto	-22,65	-78,20	-83,35	-54,63	-41,81	-40,78	-36,67	-32,42	-8,18	-6,34	-4,81	-3,59
Jaúl	-5,59	-13,91	-15,93	-10,52	-8,25	-8,39	-7,94	-7,45	-7,13	-11,66	-9,79	-8,40
Laurel	-10,84	-30,34	-32,89	-21,62	-17,15	-17,17	-15,96	-13,91	-5,01	-3,67	-2,56	-1,68
Melina	-104,15	-516,35	-565,49	-380,84	-345,42	-352,70	-329,26	-336,24	-101,93	-101,94	-98,21	-95,13
Otras	-13,38	-52,50	-237,33	-181,69	-163,68	-162,56	-156,00	-150,03	-70,35	-69,51	-65,75	-62,15
Pino	-8,99	-30,93	-33,05	-21,63	-20,93	-21,39	-20,54	-19,51	-13,72	-13,25	-12,44	-12,01
Pochote	-13,18	-55,84	-58,84	-38,90	-32,00	-32,07	-30,04	-24,24	-8,36	-6,34	-4,70	-3,40
Teca	-31,96	-78,45	-102,13	-73,55	-82,60	-78,82	-83,68	-76,80	-87,53	-224,55	-95,37	-204,14
Balance	-216,01	-871,87	-1147,0	-797,68	-732,74	-733,16	-701,70	-681,42	-322,43	-470,96	-324,76	-419,23

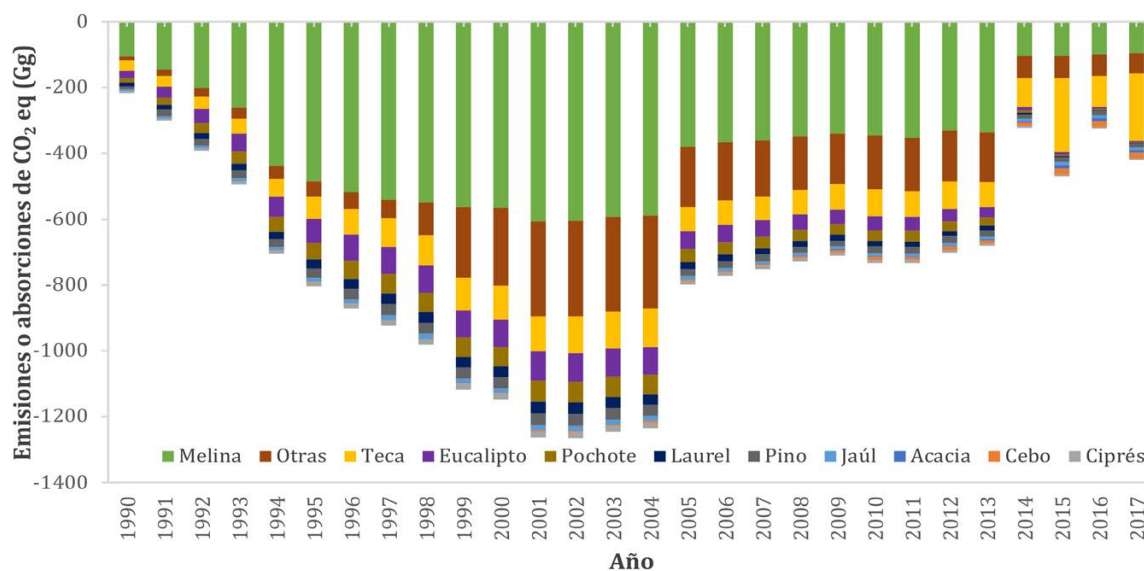


Figura 6.6 Emisiones y absorciones de las plantaciones forestales según especie para la serie 1990-2017.

En lo que se refiere a la tendencia mostrada en la Figura 6.6, durante el periodo 1990-2001, las plantaciones forestales experimentaron un crecimiento en su capacidad de absorción, producto de las políticas que incentivaban este cultivo desde la década de 1980. Para 1990, el auge de la melina hizo que para 1990-2001 presentara las mayores absorciones de CO₂ eq, seguido de la teca y otras especies.

En el periodo 2001-2004, la capacidad de absorción empieza a sufrir leves disminuciones, producto, en parte, de la disminución de la reforestación en el país, del aprovechamiento de plantaciones que entraban en su etapa de maduración (por ejemplo, plantaciones de teca de 18 y 20 años), o bien, de áreas plantadas que se abandonaron debido a que la calidad del material vegetal no trajo los beneficios económicos esperados. La tendencia a la baja en la capacidad de absorción se acrecentó luego de 2004, lo que ha estado ligado: a cambios en el manejo de las plantaciones forestales para satisfacer la demanda de madera de la industria tarimera para exportación, corta de plantaciones que aún no alcanzan el turno de corta, baja rentabilidad de la actividad respecto a otras actividades económicas y disminución en el área anual que se reforesta.

6.4.2.1.3. PÉRDIDAS POR DISTURBIOS NATURALES

Las pérdidas por disturbios naturales durante toda la serie no han presentado un comportamiento constante, siendo el principal causante de las variaciones la superficie quemada anualmente. Dichas variaciones pueden tener la capacidad de alterar las tendencias del balance de GEI dentro del sector FOLU. Las mayores pérdidas de biomasa se presentaron en 2013, 2015, y 2016, cuando se superaron los 2500 Gg CO₂ eq (Cuadro 6.13 y Figura 6.7).

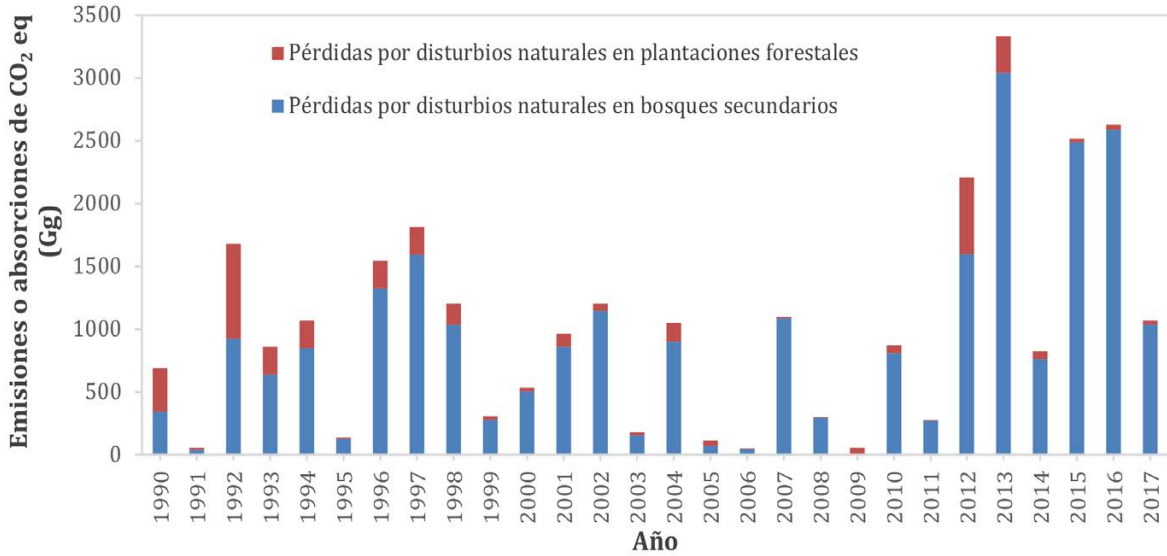


Figura 6.7 Emisiones de CO₂eq (Gg) debidas a las pérdidas de biomasa por disturbios naturales ocurridos en plantaciones forestales y bosques secundarios para la serie 1990-2017.

Cuadro 6.13 Balance de emisiones y absorciones de CO₂eq (Gg) de las pérdidas por disturbios naturales según bosque secundario y plantaciones forestales de Costa Rica

Pérdidas por disturbios naturales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bosques secundarios	340,65	1326,8	503,18	64,99	808,68	272,40	1598,6	3044,1	762,35	2490,2	2587,0	1035,49
Plantaciones forestales	351,76	218,30	32,63	46,72	59,71	1,12	608,29	286,94	63,51	27,92	38,97	31,21
Balance	692,42	1545,1	535,81	111,72	868,40	273,52	2206,9	3331,0	825,87	2518,1	2626,0	1066,7

6.4.2.1.4. PÉRDIDAS POR REMOCIÓN DE MADERA

En 2017, las emisiones de GEI por la remoción de madera fue de 1066,4 Gg CO₂eq, aumentando en un 3768 % desde 1990 y en un 3% desde 2015 (Cuadro 6.10). Como se observa en la Figura 6.8, estas pérdidas empiezan a aumentar desde 1990 y tiene su valor más alto en 2007, cuando alcanzan valores superiores a los 1300 Gg CO₂eq, a partir de ese año y hasta el 2011 experimentaron una disminución. Durante el periodo 2012-2017, se han mantenido entre los 995 y 1157 Gg CO₂eq. Esta tendencia en las remociones de madera tiene relación con la cosecha de madera de plantaciones forestales, las cuales tuvieron su auge luego del 2000 y han estado influenciadas por el comportamiento del mercado internacional de la teca (por ejemplo: exportaciones de madera aserrada y en bruto), y de productos agrícolas para la exportación (por ejemplo: piña, banano).

6.4.2.1.5. TIERRAS CONVERTIDAS EN TIERRAS FORESTALES

Esta subcategoría incluye las emisiones y absorciones de CO₂ generadas como resultado de cambios en la biomasa y materia orgánica muerta en tierras convertidas en tierras forestales. En 2017, el balance de GEI de este componente contabilizó -119,15 Gg CO₂eq, disminuyendo en 83 % y 73 % desde 1990 y 2015, respectivamente. Para el periodo 2012 - 2013, se generó un comportamiento

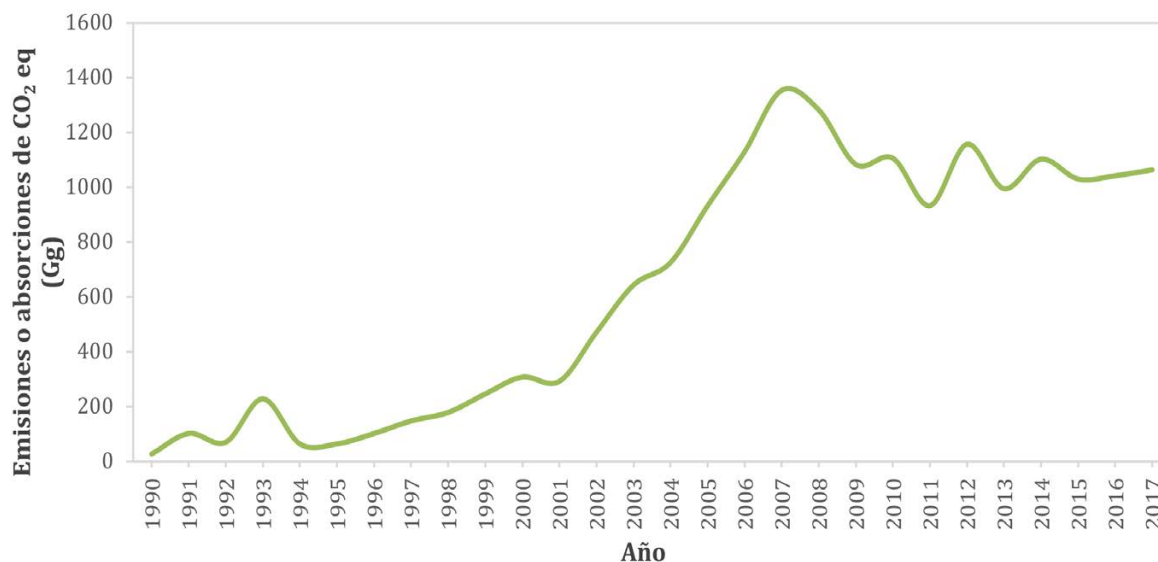


Figura 6.8 Emisiones de GEI debidas a las pérdidas por remoción de biomasa en plantaciones forestales para la serie 1990-2017.

distinto a la tendencia registrada en otros periodos que se analizará a profundidad en el próximo ciclo de INGEI comparando los mapas de cobertura de la tierra generados por el Nivel de Referencia de REDD+, los cuales se utilizaron para la obtención de los datos de actividad de este componente (Figura 6.14). Por otro lado, en términos absolutos, las tierras convertidas en bosque húmedo concentran el 91 % de las emisiones y absorciones generadas en 2017, seguido del bosque muy húmedo y pluvial con el 7 % (Cuadro 6.14). Áreas de pastizales, cultivos permanentes y suelos descubiertos son los que mayor contribución tienen en esta conversión.

Cuadro 6.14 Balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) de las tierras convertidas en tierras forestales según tipo de bosque de Costa Rica

Tierras convertidas en tierras forestales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bosque húmedo	-543,6	-972,4	-674,5	-265,6	-893,9	-893,9	-2444,70	-2444,35	-394,4	-394,4	-109,0	-109,0
Bosque muy húmedo y pluvial	-151,0	-118,8	-212,5	-184,3	-197,1	-197,1	-1135,10	-1134,86	-42,1	-42,1	-7,9	-7,9
Bosque seco	-9,6	-7,4	-18,1	-3,3	-3,6	-3,6	-7,1	-7,1	-3,3	-3,3	-2,2	-2,2
Manglar	-0,9	-1,7	-1,0	-1,1	-2,7	-2,7	-2,4	-2,4	-1,6	-1,6	0,01	0,01
Yolillal	0,03	-0,02	2,0	0,4	0,7	0,7	3,1	3,2	-1,0	-1,0	-0,01	-0,01
Balance	-705,1	-1100,27	-904,2	-453,9	-1096,50	-1096,50	-3586,17	-3585,51	-442,3	-442,3	-119,2	-119,2

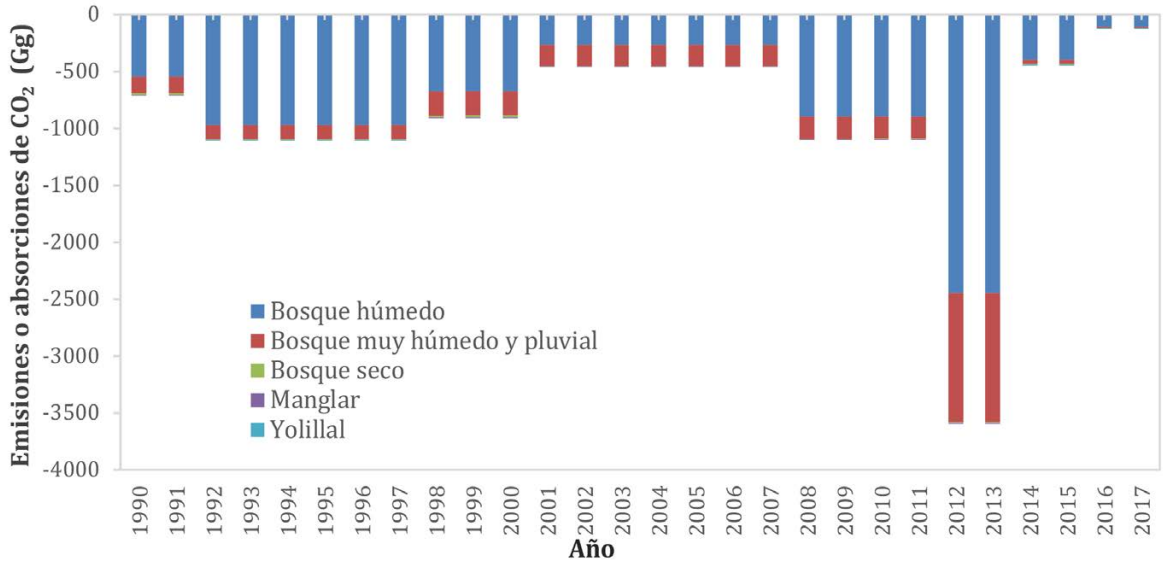


Figura 6.9 Emisiones y absorciones de GEI (Gg CO₂) debidas a la conversión de tierras en tierras forestales según tipo de bosque para la serie 1990-2017.

6.4.3. Metodología

La estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de las Tierras forestales se desarrolló aplicando el método de pérdidas y ganancias de biomasa para los depósitos de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta cuyas ecuaciones se muestran más adelante (ecuaciones obtenidas del Volumen 4, Capítulo 2 de las *Directrices del IPCC 2006*). Para todos los componentes se aplicó un método de Nivel 2 mediante el uso de factores de emisión específicos para el país. En el caso de las emisiones de gases no-CO₂, se empleó una combinación del método nivel 1 y 2, debido a que los factores de emisión seleccionados fueron de las *Directrices del IPCC de 2006* y el país cuenta con información detallada de datos de actividad y biomasa que se quema. Dicha combinación también se aplicó para las tierras convertidas en tierras forestales (Cuadro 6.5).

Biomasa

Tierras forestales que permanecen como tierras forestales

Para determinar los cambios de la biomasa de las tierras forestales que permanecen como tal se empleó las ecuaciones 6.1, 6.2 y 6.3. Para la reducción anual de las existencias de carbono por pérdidas por remoción de biomasa y distribución naturales se emplearon las ecuaciones 6.4 y 6.5.

$$\Delta C_B = \Delta C_G - \Delta C_L \tag{6.1}$$

Donde:

cambio anual en las existencias de carbono en la biomasa (aérea y subterránea), para cada subcategoría de uso de la tierra, considerando la superficie total, t C año⁻¹

incremento anual de las existencias de carbono debido al crecimiento de la biomasa para cada subcategoría de uso de la tierra, considerando la superficie total, t C año⁻¹

reducción anual de las existencias de carbono debida a la pérdida de biomasa para cada subcategoría de tierra, considerando la superficie total, t C año⁻¹

$$\Delta C_G = \sum(A * G_{TOTAL} * CF) \quad (6.2)$$

Donde:

incremento anual de las existencias de carbono en la biomasa debido al crecimiento de la biomasa en Tierras que permanecen en la misma categoría de uso, por tipo de vegetación y zona climática, t C año⁻¹

: superficie que permanece en la misma categoría de uso de la Tierra, ha

crecimiento medio anual de la biomasa, t materia seca ha⁻¹ año⁻¹

: fracción de carbono de la materia seca, t C en ms

$$G_{TOTAL} = \sum\{I_V * BCEF_1 * (1 + R)\} \quad (6.3)$$

incremento anual promedio de las tierras forestales, m³ ha⁻¹año⁻¹

factor de conversión y expansión de biomasa para la conversión del incremento anual en volumen a crecimiento de biomasa aérea

R = relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea para cada tipo de vegetación

$$L_{remoción-bosques} = \{H * BCEF_R * (1 + R) * CF\} \quad (6.4)$$

Donde:

: pérdida anual de carbono debida a remoción de bosques, t C año⁻¹

= remociones anuales de bosques, rollizos, m³ año⁻¹

R = factor de conversión y expansión de biomasa para la conversión de remociones en volumen a remociones totales de biomasa

= relación entre la biomasa subterránea y la biomasa aérea para cada tipo de vegetación.

CF = fracción de carbono de materia seca, t C (t d.m.)⁻¹

$$L_{perturbación} = \{A_{perturbación} * B_w * (1 + R) * CF * fd\} \quad (6.5)$$

Donde:

= otras pérdidas anuales de carbono, t C año⁻¹

= superficie afectada por perturbaciones, ha año⁻¹

= biomasa aérea promedio (existencias) de superficies de Tierra afectadas por perturbaciones, t ms ha⁻¹

R = relación entre biomasa subterránea y aérea para cada tipo específico de vegetación

CF = fracción de carbono de materia seca, t C ms⁻¹

Fd = fracción de biomasa perdida por perturbaciones

Tierras convertidas a tierras forestales

Para las emisiones y absorciones de las tierras que sufrieron conversiones a tierras forestales se aplicó la ecuación 6.6 y 6.7.

$$\Delta C_B = \Delta C_G + \Delta C_{CONVERSIÓN} - \Delta C_L \quad (6.6)$$

Donde:

= cambio anual en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, ton C año⁻¹

= incremento anual en las existencias de carbono de la biomasa debido a crecimiento en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, ton C año⁻¹

= cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, ton C año⁻¹

= reducción anual en las existencias de carbono de la biomasa debida a pérdidas producidas por cosechas, recogida de madera combustible y perturbaciones en tierras convertidas a otra categoría de uso de la tierra, ton C año⁻¹

$$\Delta C_{CONVERSIÓN} = \sum \{ (B_{Después} - B_{antes}) * \Delta A_{A_OTRAS i} \} * CF \quad (6.7)$$

Donde:

= cambio inicial en las existencias de carbono de la biomasa en tierras convertidas a otra categoría de tierra, ton C año⁻¹

= existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* inmediatamente después de la conversión, ton d.m. ha⁻¹

= existencias de biomasa en el tipo de tierra *i* antes de la conversión, ton d.m. ha⁻¹

= superficie de uso de la tierra *i* convertida a otra categoría de uso de la tierra en un año dado, ha año⁻¹.

CF = fracción de carbono de materia seca, ton C (ton d.m.)⁻¹

i = tipo de uso de la tierra convertido a otra categoría de uso de la tierra

Datos de actividad

Los datos de actividad empleados para el crecimiento de bosques secundarios y tierras convertidas en tierras forestales por tipo de bosque se obtuvieron de la representación de tierras descrita en la sección 6.3, generada por el Nivel de Referencia de REDD+ (MINAE, 2016). Los datos de actividad de las plantaciones forestales por especie se obtuvieron a partir de las estadísticas nacionales de: la Dirección General Forestal (DGF, 1988-1993-1994) para el periodo 1990-2000, de Martínez (2014) para el periodo 2001-2013, y el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC, 2015) para el periodo 2014-2017. Estas estadísticas se complementaron con información del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO, 2021), de la Oficina Nacional Forestal (Barrantes y Salazar, 2007; ONF, 2009; Barrantes et al., 2011; Barrantes y Ugalde, 2012-2017) y del Instituto Meteorológico Nacional (Chacón et al., 2009-2014-2015; Blanco et al., 2019). Para evitar la doble contabilidad de las áreas, las plantaciones forestales se restaron a cada uno de los cohortes de bosques secundarios por tipo de bosque y cultivos permanentes definidos por la herramienta para la determinación del Nivel de Referencia de REDD+ (MINAE, 2016) para todo la serie del inventario.

Para el caso de las pérdidas por disturbios naturales se emplearon estadísticas sobre incendios forestales en bosques secundarios y plantaciones forestales (Villalobos, *et al.* S.f; SINAC, 2020). Además, se ajustó el área de bosques secundarios por tipo de bosque siguiendo la definición de la sección 6.2 y según área de conservación reportada por SINAC (2020).

Los datos de actividad de las pérdidas por remoción de madera en plantaciones forestales se derivaron de las estadísticas de los usos y aportes de la madera de la Oficina Nacional Forestal (Barrantes y Salazar, 2007; ONF, 2009; Barrantes et al., 2011; Barrantes y Ugalde, 2012-2017), los valores presentados por Arce y Barrantes (2004), Calderón (2000) y los boletines estadísticos de la Dirección General Forestal (DGF, 1994; Canet *et al.*, 1996). Para obtener el área aprovechada de plantaciones forestales, se empleó lo realizado por Ugalde, Alice y Rodríguez (2019).

Factor de emisión

Biomasa aérea y subterránea

Para la biomasa arriba del suelo de bosques primarios se emplearon los valores de biomasa máxima presentada por Cifuentes (2008) para las zonas de vida tropical seco, tropical húmedo y húmedo premontano transición a basal del pacífico. Para manglares y yolillales primarios se consideraron los valores presentados por el Inventario Nacional Forestal (Programa REDD+/CCAD-GIZ-SINAC, 2015). En cuanto a los bosques secundarios, como se observa en el cuadro 6.15, se emplearon

Cuadro 6.15 Datos paramétricos de la biomasa arriba de suelo para bosques primarios y secundarios por tipo de bosque

Uso de la tierra		Parámetro (Mg C ha ⁻¹)	Fuente	
Tierras forestales que permanecen como tales	Bosques primarios	Bosque muy húmedo y pluvial	209,15	Cifuentes (2008)
		Bosque húmedo	123,19	
		Seco	72,76	
		Manglar	90,95	Programa REDD/CCAD-GIZ-SINAC (2015)
		Yolillal	51,70	
	Crecimiento de bosques secundarios	Bosque muy húmedo y pluvial	$BAST_t = Bmax * [1 - e^{(-0.0186*t)}]^1$ Donde: = biomasa arriba del suelo total en el año t = biomasa máxima t= años	Cifuentes (2008)
		Bosque húmedo	$BAST_t = Bmax * [1 - e^{(-0.0348*t)}]^1$ Donde: = biomasa arriba del suelo total en el año t = biomasa máxima t= años	
		Seco	$BAST_t = Bmax * [1 - e^{(-0.113*t)}]^5;1411$ Donde: = biomasa arriba del suelo total en el año t = biomasa máxima t= años	
		Manglar	$BAST_t = \frac{Bmax}{100} * t$ Cuando t ≤ 100	MINAE (2016)
		Yolillal	Cuando t ≤ 100 Donde: = biomasa arriba del suelo total en el año t = biomasa máxima t= años	

Cuadro 6.16 Datos paramétricos del crecimiento de la biomasa arriba de suelo para plantaciones forestales por especie en Costa Rica

Uso de la tierra		Parámetro (Mg C ha ⁻¹ año ⁻¹)	
Tierras forestales que permanecen como tales	Crecimiento de plantaciones forestales	Melina	6,27
		Teca	2,93
		Laurel	5,88
		Pino	4,55
		Ciprés	4,85
		Cebo	5,88
		Jaúl	6,82
		Acacia	5,88
		Pochote	3,20
		Otras	5,88
		Eucalipto	7,67

las ecuaciones de las mismas zonas de vida para obtener el contenido de biomasa y carbono de cada una de las edades de los bosques, siguiendo la metodología empleada por el Nivel de Referencia de REDD+ (MINAE, 2016).

En el caso de plantaciones forestales, se emplearon datos sobre el incremento anual de la biomasa arriba del suelo de cada una de las especies reforestadas en Costa Rica (Cuadro 6.16; Chacón et al., 2009-2014-2015; Blanco et al., 2019). Para determinar el crecimiento de estas plantaciones se consideró: la edad de 20 años como periodo para alcanzar la biomasa máxima, el tipo de manejo y el área en producción mostrada por el Censo Agropecuario de 2014 (INEC, 2015).

Para las tierras convertidas en tierras forestales se utilizaron los mismos datos paramétricos de los bosques secundarios en crecimiento (Cuadro 6.16). Específicamente, para bosque seco se usó el contenido de biomasa a los 8 años, mientras que para el resto se empleó el contenido a los 4 años. Estas edades se consideraron las edades mínimas en las cuales los bosques se vuelven detectables en el material remoto utilizado en la representación de las tierras. El contenido de biomasa existente en los usos de la tierra previos se describe en los apartados de estos (tierras de cultivo y pastizales).

Por su parte, para las pérdidas de biomasa por remoción de madera en plantaciones forestales se utilizaron los valores de volumen rollizo recibido en la industria forestal costarricense, (Barrantes y Salazar, 2007; ONF, 2009; Barrantes et al., 2011; Barrantes y Ugalde, 2012-2017) y el factor de conversión y expansión de la biomasa empleado por Ugalde, Alice y Rodríguez (2019). En cuanto a las pérdidas por disturbios naturales, en bosques secundarios el valor de la biomasa aérea promedio se determinó a partir de las ecuaciones por tipo de bosque del cuadro 6.15, mientras que en plantaciones forestales se utilizó un valor constante de 90 Mg de biomasa seca. En ambos casos se consideró que la perturbación eliminó toda la biomasa.

La relación biomasa subterránea y biomasa aérea usada en todos los casos fue de 0,25 (Fonseca, Alice y Rey, 2009). La proporción de carbono en la biomasa arbórea utilizada para estimar el carbono fue de 47 % (IPCC, 2006).

Materia orgánica muerta

Las ecuaciones y los parámetros empleadas para determinar el contenido de materia orgánica muerta en bosques secundarios en crecimiento y tierras convertidas en tierras forestales contemplaron este reservorio.

6.4.4. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Para asegurar la coherencia temporal todos los datos fueron obtenidos de las mismas fuentes indicadas anteriormente y se utilizó la misma metodología en toda la serie.

Incertidumbre

La incertidumbre se realizó empleando el método de propagación del error y el de Monte Carlo para el 2017, esto para cada componente de las tierras forestales. La incertidumbre combinada con propagación del error se estimó en 48,22 %. Para los datos de actividad se empleó un 30 % de incertidumbre asociado a la clasificación del material remoto utilizado. En el caso de los factores de emisión, los errores de estimación se buscaron en las fuentes de origen de los datos (Cuadro 6.17).

Cuadro 6.17 Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en las tierras forestales

Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)	Justificación de la incertidumbre del FE
3B.1. Tierras forestales					
Crecimiento de plantaciones forestales	CO ₂	30	30	42,43	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.
Crecimiento de bosques secundarios	CO ₂	30	11	32,13	Se asignó el valor de bosque húmedo debido a que tiene mayor peso en las absorciones.
Pérdidas por disturbios naturales	CO ₂	30	62	68,88	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.
Pérdidas por remoción de madera	CO ₂	15	30	33,54	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.
Tierras convertidas en tierras forestales	CO ₂	30	11	32,13	Se asignó el valor de bosque húmedo debido a que tiene mayor peso en las absorciones.

Al combinar los datos por medio de simulaciones de Monte Carlo, se obtuvo una media de -4284,85 Gg CO₂ eq a un 95 % de confianza (Figura 6.10). El rango de valor al nivel de confianza va desde los -5239 Gg CO₂ eq a -3282 Gg CO₂ eq (IC: -22 %, +23 %). En la mayoría de los parámetros y datos de actividad empleados se asignó una función de densidad probabilística normal; únicamente, en los datos que provenían de valores de volumen se asignaron funciones triangulares.

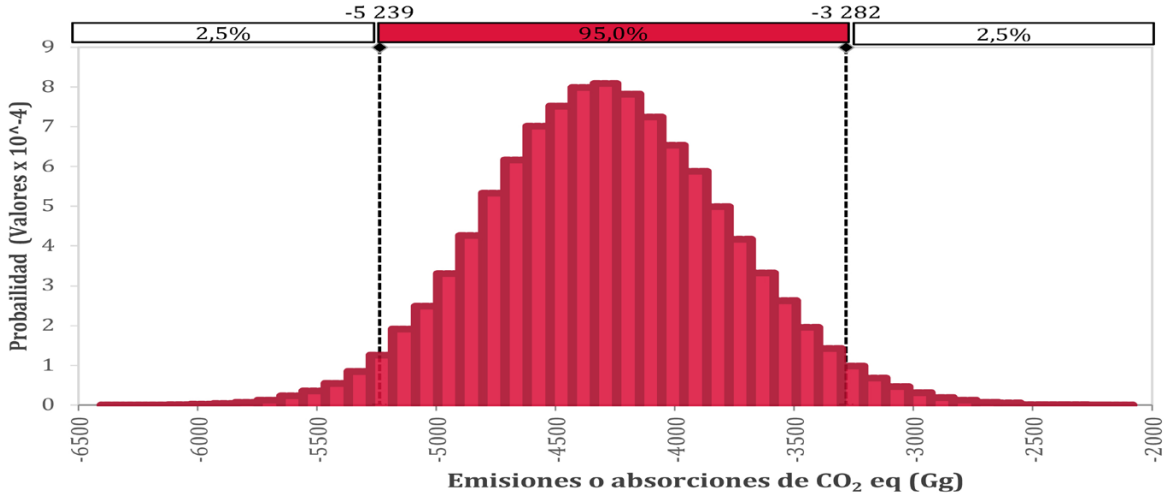


Figura 6.10 Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) totales de las tierras forestales.

6.4.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Para el aseguramiento y control de calidad se siguieron las *Directrices del IPCC 2006* contemplando procedimientos como: documentación de datos, proceso de archivo a las fuentes de datos, así como a los resultados.

Control de los datos de actividad

Los datos de actividad de toda la serie temporal se encuentran de manera electrónica. Para evitar errores de digitación se copian los valores y se trasladan a las hojas de cálculo de las emisiones y absorciones.

Control de los factores de emisión

Los factores de emisión se encuentran definidos en las hojas de cálculo para evitar errores de digitación.

Otros controles

Las hojas de cálculo cuentan con chequeos de totales por suma de emisiones y absorciones por subcategorías y estratos para evitar una sumatoria errónea de estas o dobles contabilidades.

Verificación

Como verificación de las emisiones y absorciones, se realizó un proceso de comparación con los resultados del Nivel de Referencia de REDD+ (MINAE, 2016) y los estudios sobre “Cambios y patrones históricos en el uso del suelo agrícola en Costa Rica” y “Patrones espaciales y temporales de los depósitos de carbono y emisiones por deforestación en Costa Rica” presentados en el Taller de Armonía con la Naturaleza del Programa Estado de La Nación. Asimismo, se emplean otras estadísticas que alimentan la serie temporal, y al analizar las tendencias se determinan incongruencias en las estimaciones, posibles errores o bien, actividades con un patrón de uso variable.

6.4.6. Recálculos

Al agrupar los recálculos de todas las subcategorías mostrados anteriormente existe una diferencia en todos los años de inventario, estas se generaron principalmente en 1996, 2010 y 2012 (Figura 6.11). Las variaciones se deben, en los primeros inventarios (1990, 1996, 2000 y 2005), a que se empleaban las metodologías para inventarios nacionales de GEI de las *Directrices del IPCC de 1996*, las cuales consideraban otro abordaje para la estimación de las emisiones y absorciones. Asimismo, se actualizaron los datos de actividad de toda la serie para las plantaciones forestales de tal manera que simularan el cambio en el manejo que se les ha dado.

Para el crecimiento de bosques secundarios y tierras convertidas en tierras forestales se abordó siguiendo la lógica empleada para la elaboración del nivel de referencia de REDD+ (MINAE, 2016). Esto generó una variación en los datos de actividad y factores de emisión para emisiones y absorciones, respecto a lo que se venía realizando en anteriores inventarios.

En el caso de las pérdidas por remoción de madera, para los inventarios de 1990, 1996, 2000 y 2005 no se consideró como fuente de emisión. Para efectos del 2010, 2012 y 2015 las diferencias encontradas responden a ajustes en el valor de biomasa que se perdió durante las remociones; y, específicamente, para el 2012 y 2015, en el empleo del volumen total rollizo que consume la industria forestal en el país.

Por su parte, las pérdidas por disturbios naturales fue otra de las fuentes que no se consideraron en los inventarios de 1990, 1996, 2000 y 2005. Asimismo, se estimó el área afectada para los años que no se contaba con información de bosques secundarios y plantaciones forestales según la serie histórica mostrada por las estadísticas nacionales. En cuanto a los factores de emisión, se realizaron ajustes en los valores de la masa combustible disponible para la combustión y el factor de combustión para toda la serie.

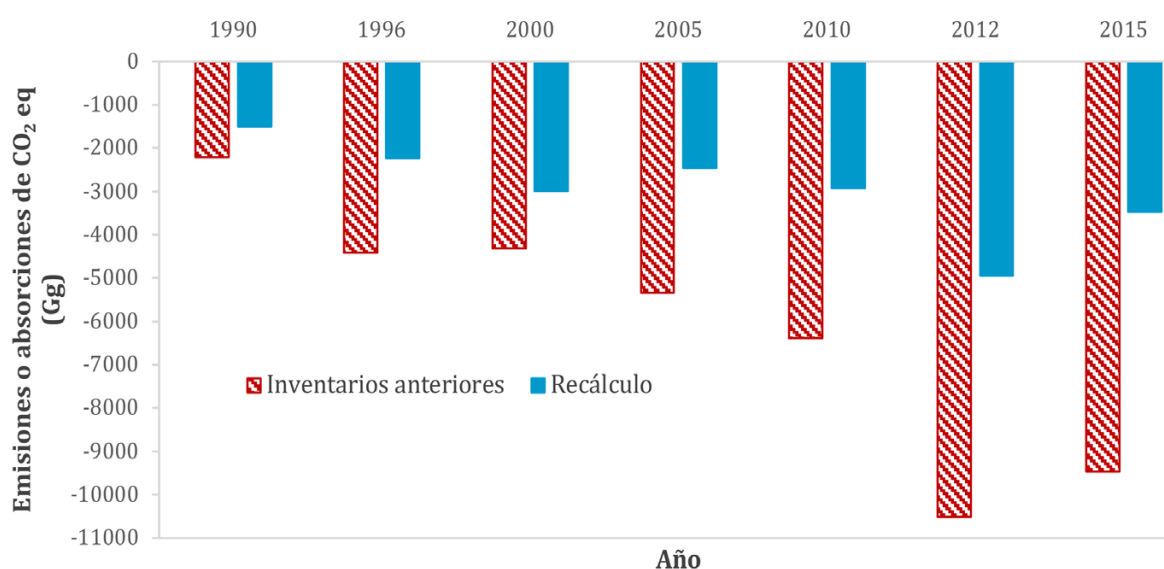


Figura 6.11 Recálculos para la categoría 3.B.1 Tierras forestales.

6.4.7. Plan de mejora

Para las tierras forestales, se considerará incluir para futuros inventarios:

- El carbono orgánico del suelo en tierras forestales.
- Mejorar la estimación de las existencias de carbono y biomasa de los bosques secundarios en crecimiento y tierras convertidas en tierras forestales.
- Mejorar la estimación de las existencias de carbono y biomasa de las áreas reforestadas con y sin incentivo del Estado.
- El área de los bosques primarios manejados y las emisiones y absorciones que se generan dentro de estos.
- Mejorar los datos de actividad de bosques en crecimiento y tierras convertidas en tierras forestales.
- Se analizará a profundidad en el próximo ciclo de INGEI los mapas de cobertura de la tierra generados por el Nivel de Referencia de REDD+, específicamente, para tierras convertidas en tierras forestales.

6.5. Tierras de cultivo (3.B.2)

6.5.1. Descripción de la categoría

En 2017, las tierras de cultivo abarcaron una superficie de 50571,8 ha, donde el 51% correspondió a cultivos anuales que permanecieron como tales, el 42 % a cultivos permanentes que permanecieron como tales, y el 4% a tierras convertidas en tierras de cultivo. Dichas conversiones se debieron, principalmente, a la pérdida de cobertura forestal de bosques primarios y secundarios.

El carbono almacenado en las tierras de cultivo permanentes, así como el emitido o absorbido, está estrechamente vinculado con las prácticas de gestión, del suelo y el clima. De esta manera, en cultivos anuales o con varias cosechas al año (por ejemplo: legumbres, hortalizas, cañales) no se presenta un almacenamiento a largo plazo del carbono en la biomasa. En contraposición, la vegetación leñosa en cultivos permanentes (por ejemplo: cafetales, cacaotales, palma aceitera) contienen depósitos de carbono en la biomasa de larga vida. La cantidad estará estrechamente relacionada al tipo de especie cultivada, la densidad de siembra, las tasas de crecimiento y las prácticas de cosecha y poda.

Usualmente, las conversiones desde otros usos de la tierra (principalmente tierras forestales) resultan en la pérdida del contenido de carbono existente. Asimismo, las conversiones dentro de las mismas tierras de cultivo también presentan cambios en las existencias de carbono en los diferentes depósitos. Por ejemplo, áreas destinadas al cultivo de arroz que fueron convertidas en palma aceitera; o bien, cafetales que son transformados en tomates o chilares.

Para efectos del inventario nacional de GEI de Costa Rica de 2017, solo se contabilizaron los cambios en las existencias de carbono debidas a la conversión de tierras forestales en tierras de cultivo, propiamente, bosques secundarios y primarios.

6.5.2. Tendencia de las emisiones

En 2017, el balance de GEI registró una emisión neta de 909,12 Gg CO₂ eq, producto de tierras convertidas en tierras de cultivo (Figura 6.12). Durante toda la serie temporal el balance es favorable a la emisión. Estas disminuyeron en un 84 % y 61 % respecto a 1990 y 2015 (Cuadro 6.18). Dicho comportamiento ha sido influenciado por las políticas ambientales que el país ha implementados desde los años 90.

Cuadro 6.18 Tierras de cultivo: balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) por subcategoría, serie 1990-2017

Tierras de cultivo	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tierras de cultivo que permanecen como tales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Tierras convertidas en tierras de cultivo	5687,0	1198,0	5118,6	1028,5	1371,4	1406,3	1886,3	1970,9	2297,7	2339,3	876,9	909,1
Balance	5687,0	1198,0	5118,6	1028,5	1371,4	1406,3	1886,3	1970,9	2297,7	2339,3	876,9	909,1

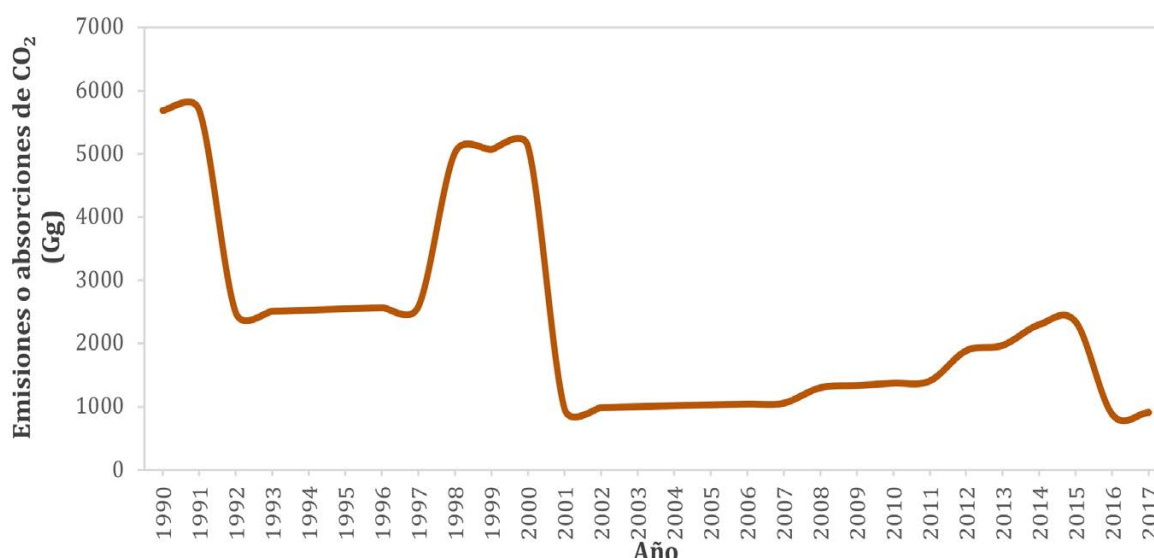


Figura 6.12 Emisiones y absorciones de GEI ocurridas en tierras de cultivo que permanecen como tales y tierras convertidas en tierras de cultivo para la serie temporal 1990-2017

6.5.2.1. TIERRAS DE CULTIVO QUE PERMANECEN COMO TALES

De acuerdo con el mapa de cobertura de la tierra 2017, las áreas de cultivos anuales correspondieron a 214089,14 ha. Estos comprenden áreas de arroz, maíz, yuca, tubérculos, cebolla, tomate, entre otros. Por su parte, los cultivos permanentes presentaron un área 259316,93 ha., los cuales corresponden a áreas de café, palma aceitera, banano, entre otros.

En el caso de cultivos anuales no existe almacenamiento del carbono a largo plazo, ya que se considera que se cosechan todos los años. Para los cultivos permanentes, de acuerdo con la información,

tanto del mapa de cobertura como de los productores, el área de plantación no ha crecido y en el caso de renovación del cultivo es difícil determinar el área de cambio. Bajo esta consideración, se tomó un área nula de crecimiento de cultivos permanentes.

6.5.2.2. TIERRAS CONVERTIDAS EN TIERRAS DE CULTIVO

Esta subcategoría abarca las emisiones y absorciones de CO₂ generadas como resultado de cambios en la biomasa y materia orgánica muerta de la conversión de bosques secundarios y primarios en tierras de cultivos. En 2017, el balance de GEI de este componente contabilizó 909,12 Gg CO₂ eq, disminuyendo en 84 % y 61 % desde 1990 y 2015, respectivamente. En términos absolutos, los bosques convertidos en cultivos anuales concentran el 86 % de las emisiones y absorciones generadas en 2017 (Cuadro 6.19). Durante los primeros años de la serie histórica, la conversión de tierras en cultivos permanentes presentó la mayor cantidad de emisiones. Esto se ha reducido a partir de 2001. Entre el 2014 y 2017, los cultivos anuales son quienes más emisiones y absorciones presentan (Figura 6.13).

Cuadro 6.19 Balance de emisiones y absorciones de GEI (Gg CO₂ eq) de las tierras convertidas en tierras de cultivo para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

Tierras convertidas en tierras de cultivo	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tierras convertidas en tierras de cultivos anuales	2707,8	1198,0	1518,6	501,6	594,5	607,7	601,6	620,8	1552,5	1593,8	754,3	782,4
Tierras convertidas en tierras de cultivos permanentes	2979,2	1367,5	3600,0	527,0	776,9	798,7	1284,7	1350,1	745,2	745,6	122,6	126,7
Balance	5687,0	2565,4	5118,6	1028,5	1371,4	1406,3	1886,3	1970,9	2297,7	2339,3	876,9	909,1

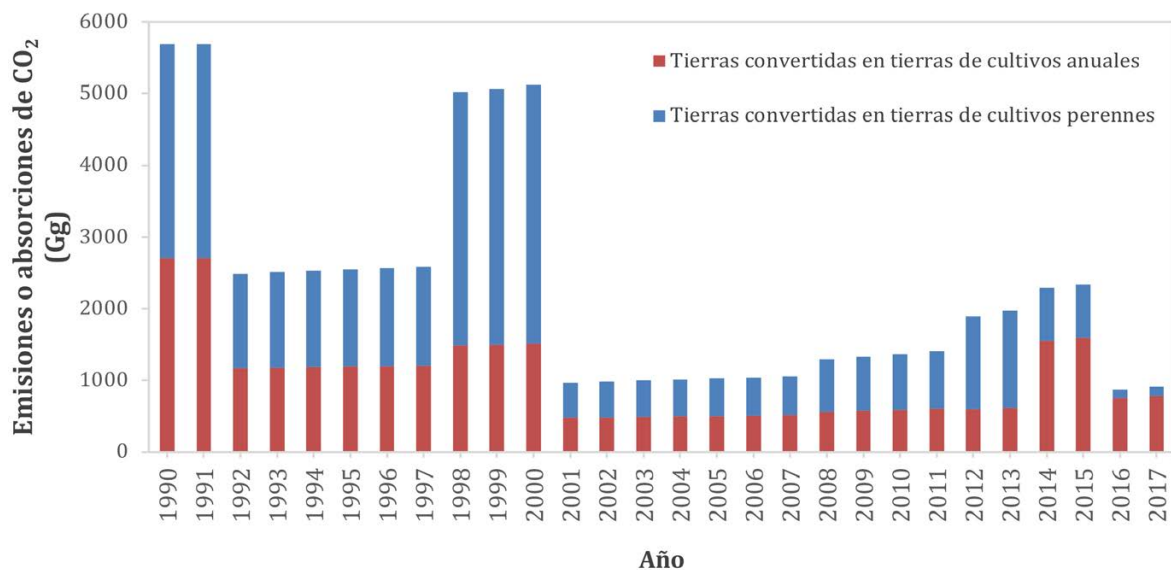


Figura 6.13 Emisiones y absorciones de CO₂ debidas a la conversión de tierras en tierras de cultivo para la serie 1990-2017

6.5.2.2.1. TIERRAS CONVERTIDAS EN TIERRAS DE CULTIVOS ANUALES

En 2017, las tierras convertidas en tierras de cultivos anuales presentaron un balance de emisiones y absorciones de CO₂ de 782,40 Gg CO₂ eq. Este monto disminuyó en 71 % y 51 % desde 1990 y 2015, respectivamente. En términos absolutos, la transferencia de carbono desde el bosque húmedo primario y secundario hacia cultivos anuales concentra el 64 % y 27 % de las emisiones y absorciones generadas en 2017, respectivamente (Cuadro 6.20). Durante gran parte de los años de la serie 1990-2017, las mayores emisiones registradas se debieron a la conversión de bosque muy húmedo y pluvial primario, y bosque húmedo primario. Esta composición sufrió variaciones a partir de 2014 donde los bosques húmedo y muy húmedo y pluvial secundarios comenzaron a tener más peso en las emisiones por la conversión en tierras de cultivos anuales (Figura 6.14).

Cuadro 6.20 Balance de emisiones y absorciones de GEI (Gg CO₂) de las tierras convertidas en tierras de cultivos anuales por tipo de bosque en Costa Rica

Tierras convertidas en tierras de cultivos anuales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bosque húmedo primario	1067,9	391,8	372,4	166,2	142,6	142,6	147,1	147,1	238,2	238,2	505,9	505,9
Bosque muy húmedo y pluvial primario	1361,2	618,1	819,6	202,3	228,3	228,3	111,4	111,4	477,0	477,0	NO	NO
Bosque seco primario	13,1	3,9	7,4	0,8	0,6	0,6	1,8	1,8	7,2	7,2	NO	NO
Manglar primario	36,4	14,8	15,5	7,3	5,0	5,0	5,4	5,4	NO	NO	4,2	4,2
Yolillal primario	60,1	27,4	30,0	11,1	11,3	11,3	27,7	27,7	NO	NO	NO	NO
Bosque húmedo secundario	103,6	95,2	140,6	78,4	110,3	116,0	219,8	232,3	593,2	621,2	187,1	211,4
Bosque muy húmedo y pluvial secundario	59,5	41,0	124,9	31,4	90,9	97,8	77,8	83,0	233,4	246,3	48,7	51,0
Bosque seco secundario	0,9	2,9	3,7	1,8	2,9	3,3	8,3	9,2	3,5	3,9	2,7	3,7
Manglar secundario	5,1	2,6	3,5	1,9	2,1	2,3	1,8	2,0	NO	NO	3,8	4,2
Yolillal secundario	0,1	0,3	1,2	0,5	0,6	0,7	0,6	0,9	NO	NO	1,9	2,0
Balance	2707,8	1198,0	1518,6	501,6	594,5	607,7	601,6	620,8	1552,5	1593,8	754,3	782,4

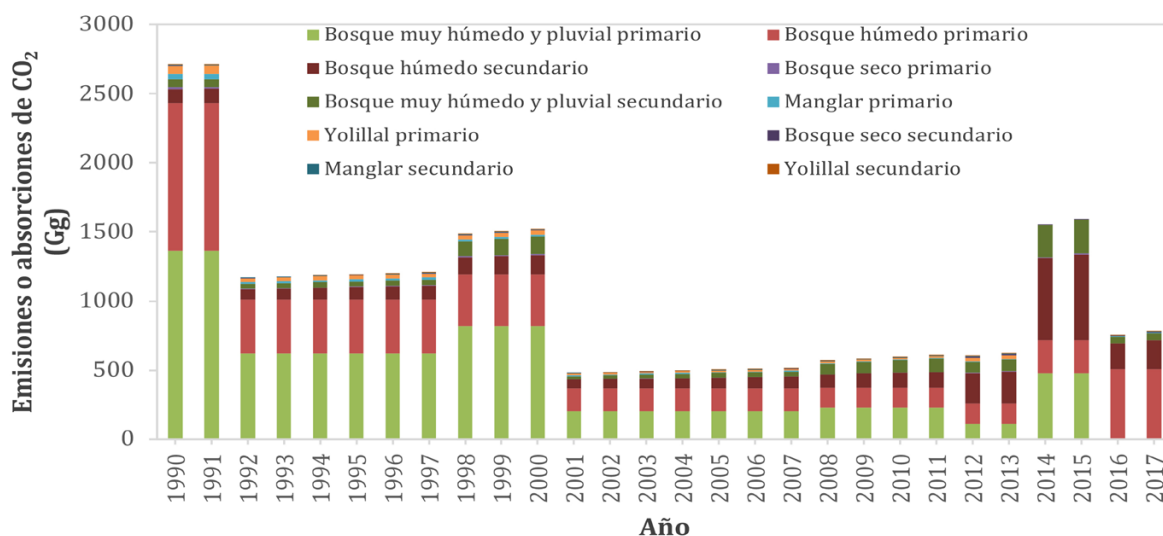


Figura 6.14 Emisiones y absorciones de CO₂ debidas a la conversión de tierras en tierras de cultivos anuales para la serie 1990-2017

6.5.2.2. TIERRAS CONVERTIDAS EN TIERRAS DE CULTIVOS PERMANENTES

Las tierras convertidas en tierras de cultivos permanentes, para el 2017, presentaron un balance de las emisiones y absorciones de CO₂ de 126,72 Gg CO₂ eq. Este monto disminuyó en 96 % y 83 % desde 1990 y 2015, respectivamente. En términos absolutos, la transferencia de carbono desde el bosque húmedo primario y secundario hacia cultivos permanentes concentra el 63 % y 43 % de las emisiones y absorciones generadas en 2017, respectivamente (Cuadro 6.21). Durante la serie 1990-2017, las mayores emisiones registradas se han debido a la **pérdida de carbono en el bosque húmedo primario**. Por su parte, partir de 2010, el flujo de carbono desde el bosque húmedo secundario hacia tierras de cultivos permanentes comenzó a contribuir de manera más significativo en el balance de emisiones de GEI (Figura 6.15).

Cuadro 6.21 Balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) de las tierras convertidas en tierras de cultivos permanentes por tipo de bosque para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

Tierras convertidas en tierras de cultivos permanentes	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bosque húmedo primario	1469,0	511,6	1534,4	144,7	166,5	166,5	166,0	166,0	744,0	744,0	34,5	34,5
Bosque muy húmedo y pluvial primario	1041,2	492,8	1216,1	139,4	168,3	168,3	96,2	96,2	NO	NO	NO	NO
Bosque seco primario	0,28	0,06	0,14	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	NO	NO	NO	NO
Manglar primario	6,60	3,40	8,34	2,41	2,27	2,27	1,36	1,36	NO	NO	NO	NO
Yolillal primario	155,5	67,4	207,1	59,6	62,7	62,7	18,2	18,2	NO	NO	NO	NO
Bosque húmedo secundario	165,0	155,0	398,7	99,0	223,0	236,4	822,6	876,1	1,1	1,4	76,8	79,6
Bosque muy húmedo y pluvial secundario	138,9	135,8	232,5	80,3	151,9	159,7	180,8	192,3	0,16	0,22	11,6	12,2
Bosque seco secundario	NO	0,01	0,01	0,01	0,0007	0,0040	0,0046	0,0002	NO	NO	NO	NO
Manglar secundario	1,17	0,63	1,05	0,56	0,59	0,68	0,12	0,20	NO	NO	NO	NO
Yolillal secundario	1,61	0,72	1,64	0,92	1,55	2,11	-0,63	-0,28	NO	NO	-0,35	0,38
Balance	2979,2	1367,5	3600,0	527,0	776,9	798,7	1284,7	1350,1	745,2	745,6	122,6	126,7

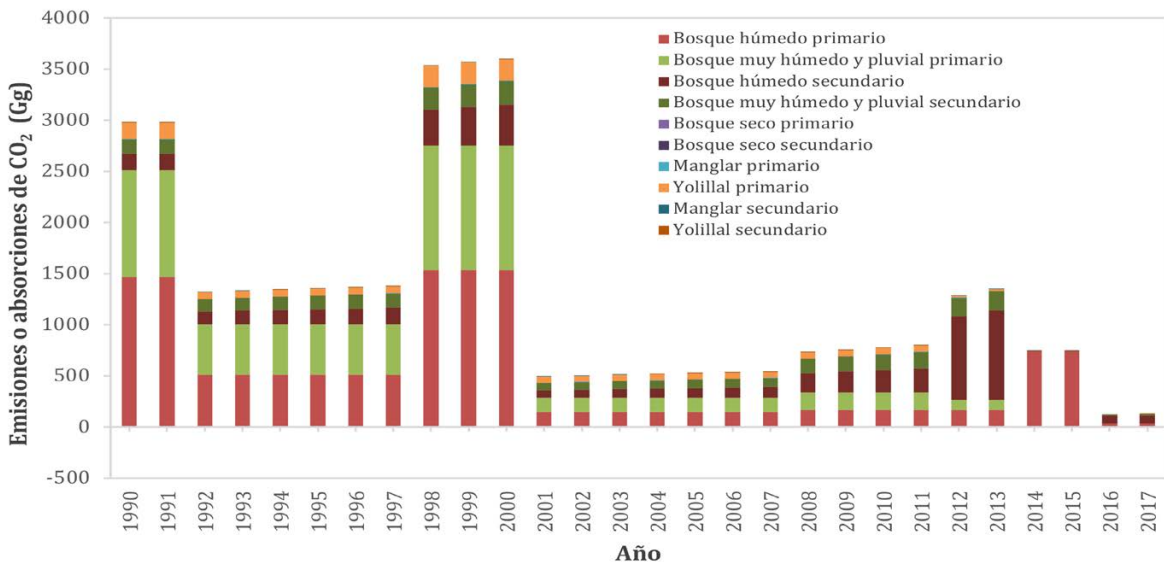


Figura 6.15 Emisiones y absorciones de CO₂(Gg) debidas a la conversión de tierras en tierras de cultivos permanentes para la serie 1990-2017.

6.5.3. Metodología

La estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de las Tierras de cultivo se desarrolló aplicando el método de pérdidas y ganancias de biomasa para los depósitos de biomasa aérea, biomasa subterránea y materia orgánica muerta del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Esto se abordó mediante el empleo de las ecuaciones 6.6 y 6.7, específicamente, para tierras que sufren conversiones a tierras de cultivo. Asimismo, para todos los componentes se aplicó una combinación del método de nivel 1 y 2 mediante el uso de factores de emisión específicos para el país y por defecto (Cuadro 6.4).

Datos de actividad

Los datos de actividad empleados para determinar las tierras de cultivo que permanecen como tales y tierras convertidas en tierras de cultivo se derivaron de la representación de tierras descrita en la sección 6.3, generada por el Nivel de Referencia de REDD+ (MINAE, 2016).

Factor de emisión

Biomasa aérea y subterránea

Para la biomasa arriba del suelo de cultivos anuales y permanentes se emplearon los valores indicados en el cuadro 6.22 por defecto del IPCC (2006). Para las tierras forestales convertidas en tierras de cultivo se utilizaron los mismos datos paramétricos de los bosques secundarios en crecimiento de la sección 6.4.3 La relación biomasa subterránea y biomasa aérea usada en todos los casos fue de 0,25 (Fonseca, Alice y Rey, 2009). La proporción de carbono en la biomasa arbórea utilizada para estimar el carbono absorbido fue de 47 % (IPCC, 2006).

Cuadro 6.22 Datos paramétricos de la biomasa aérea utilizados para cultivos anuales y permanentes

Uso de la tierra	Subcategoría	Parámetro (Mg C ha ⁻¹)	Fuente
Tierras de cultivo	Cultivos anuales	5,00	IPCC (2006)
	Cultivos permanentes	10,00	

Materia orgánica muerta

Los datos de materia orgánica muerta de cultivos permanentes empleados en el cálculo de las emisiones y absorciones se muestran en el cuadro 6.23 y se basaron en el abordaje utilizado por el Nivel de Referencia de REDD+ para estas tierras (MINAE, 2016).

Cuadro 6.23 Datos paramétricos de la materia muerta y hojarasca utilizados para cultivos permanentes

Uso de la tierra	Subcategoría	Parámetro (Mg C ha ⁻¹)		Fuente
		Madera muerta	Hojarasca	
Tierras de cultivo	Cultivos permanentes	0,33	2,07	MINAE (2016)

6.5.4. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Para asegurar la coherencia temporal todos los datos fueron obtenidos de las mismas fuentes indicadas anteriormente y se utilizó la misma metodología en toda la serie.

Incertidumbre

La incertidumbre se realizó empleando el método de propagación del error y el de Monte Carlo para el 2017, esto para cada componente de las tierras de cultivo. La incertidumbre combinada con propagación del error se estimó en 52,12 %. Para los datos de actividad se empleó un 30 % de incertidumbre asociada a la clasificación del material remoto utilizado. En el caso de los factores de emisión, los errores de estimación se buscaron en las fuentes de origen de los datos (Cuadro 6.24).

Cuadro 6.24 Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en las tierras de cultivo

Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)	Justificación de la incertidumbre del FE
3B.2. Tierras de cultivo					
Bosques primarios convertidos en cultivos anuales	CO ₂	30	75	80,78	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.
Bosques secundarios convertidos en cultivos anuales	CO ₂	30	75	80,78	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.
Bosques primarios convertidos en cultivos permanentes	CO ₂	30	75	80,78	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.
Bosques secundarios convertidos en cultivos permanentes	CO ₂	30	75	80,78	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.

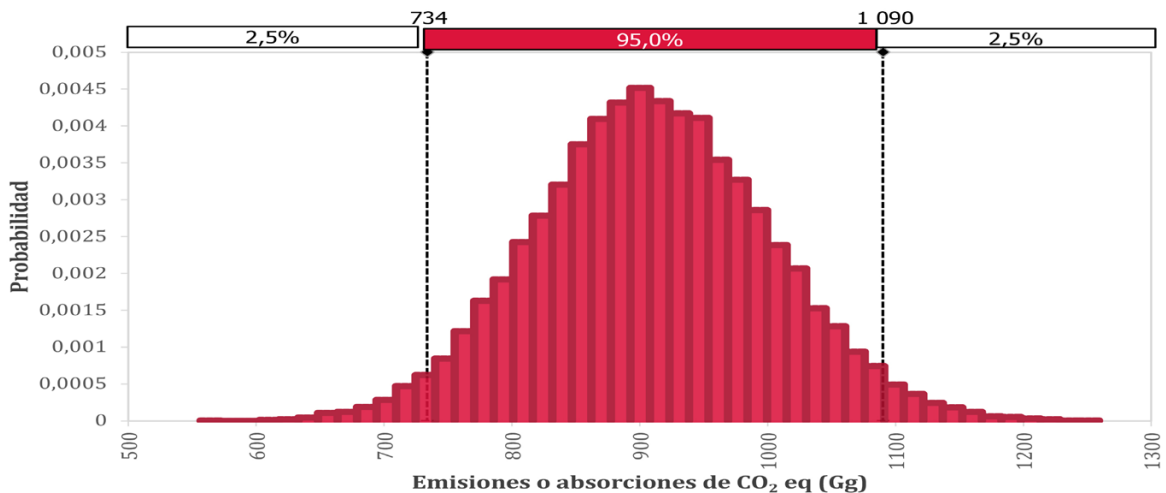


Figura 6.16 Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones (Gg CO₂ eq) totales de las tierras de cultivo

Al combinar los datos por medio de simulaciones de Monte Carlo, se obtuvo una media de 909,64 Gg CO₂ eq a un 95 % de confianza. El rango de valor al nivel de confianza va desde los 762,37 Gg CO₂ eq a 1060,31 Gg CO₂ eq (IC: -18 %, +19 %), tal como se observa en la Figura 6.16. Para todos los parámetros y datos de actividad se asignó una función de densidad probabilística normal.

6.5.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Para el control y garantía de calidad se siguió lo mencionado en la sección 6.4.5.

6.5.6. Recálculos

Al agrupar los recálculos de todas las subcategorías mostrados anteriormente, se encontró una diferencia en todos los años de inventario. Esta categoría se empezó a estimar a partir de 2010. Asimismo, se actualizaron los datos de actividad de toda la serie de los bosques convertidos en tierras de cultivo siguiendo la representación de tierras generada por el Nivel de Referencia de REDD+ (MINAE, 2016). Esto generó una variación en los datos de actividad y factores de emisión, respecto a los que se venía realizando en los inventarios de 2010, 2012 y 2015 (Figura 6.17).

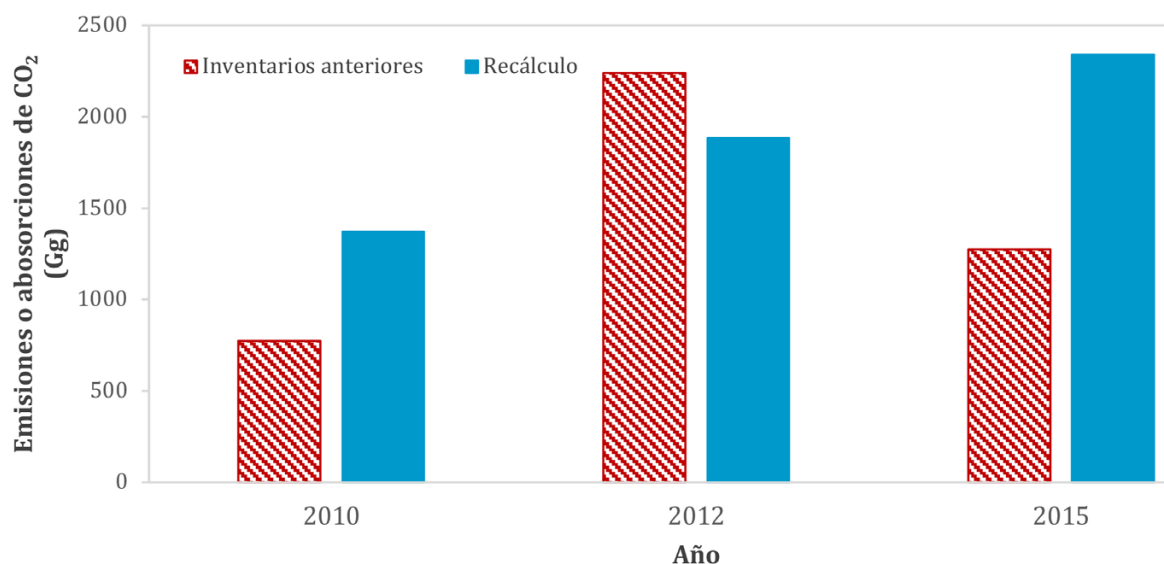


Figura 6.17 Recálculos para la categoría 3.B.2. Tierras de cultivo.

6.5.7. Plan de mejora

Para las tierras de cultivo, se considerará incluir para futuros inventarios:

- El carbono orgánico del suelo en tierras de cultivo.
- Avanzar en la estimación de las existencias y el secuestro de carbono y biomasa en tierras de cultivo que permanecen como tales.
- Avanzar en la asignación de factores de emisión que abarquen la heterogeneidad de las tierras de cultivo en Costa Rica.

- Avanzar en la estimación de las pérdidas por remoción de madera que ocurren en las tierras de cultivo.
- El área de las tierras de cultivo que presentan alguna gestión en su masa forestal.
- Mejorar los datos de actividad de las tierras convertidas en tierras de cultivo

6.6. Pastizales (3.B.3)

6.6.1. Descripción de la categoría

En 2017, los pastizales abarcaron una superficie de 1226677,35 ha, donde el 97 % correspondió a pastizales que permanecieron como tales. El 3 % restante correspondió a tierras convertidas en pastizales, debidas a la pérdida de carbono de bosques primarios y secundarios.

Como pastizales se consideran todas aquellas tierras que son dedicadas a la ganadería, principalmente. Entre estas tierras destacan los sistemas silvopastoriles (cercas vivas y árboles plantados dentro de los establos o vías de acceso), pastos desnudos, pastos abandonados, charrales con predominio de gramíneas y pastos con árboles remanentes de bosques primarios y secundarios.

Para efectos del inventario nacional de GEI de Costa Rica de 2017, solo se contabilizaron los cambios en las existencias de carbono debidas al flujo de carbono de tierras forestales hacia pastizales, propiamente, bosques secundarios y primarios.

6.6.2. Tendencia de las emisiones

En 2017, el balance de GEI registró una emisión neta de 700,91 Gg CO₂ e, producto de tierras convertidas en pastizales (Figura 6.18). Durante toda la serie temporal el balance es favorable a la emisión. Estas disminuyeron en un 97 % y 64 % respecto a 1990 y 2015 (Cuadro 6.25). Dicho

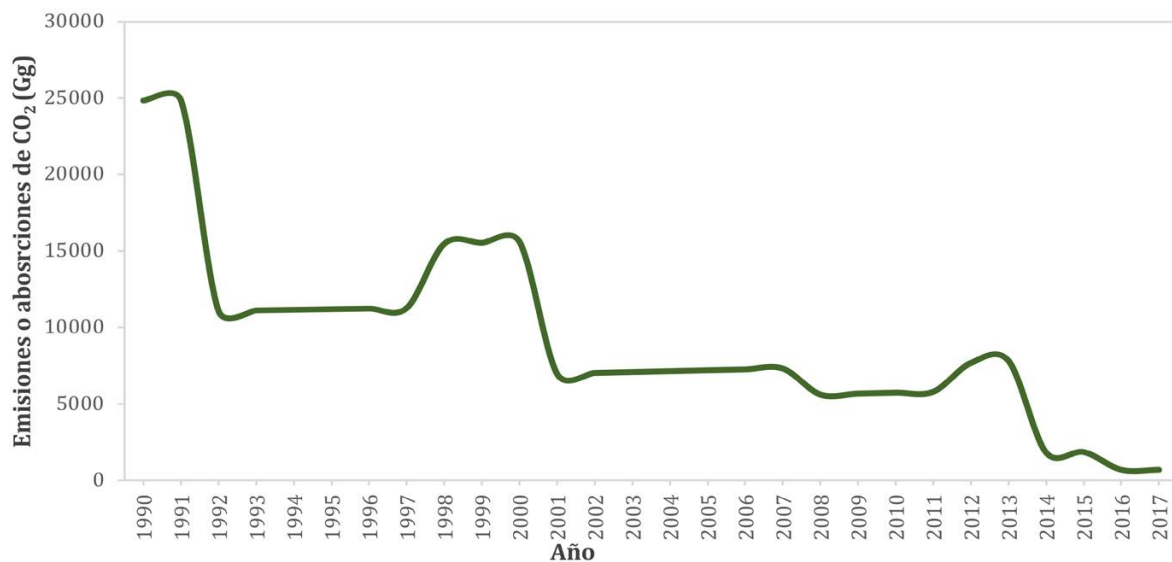


Figura 6.18 Emisiones y absorciones de GEI ocurridas en pastizales que permanecen como tales y tierras convertidas en pastizales para la serie temporal 1990-2017.

comportamiento ha sido influenciado por las políticas ambientales que el país ha implementados desde los años 90.

Cuadro 6.25 Pastizales: balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) por subcategoría, serie 1990-2017

Pastizales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pastizales que permanecen como tales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Tierras convertidas en pastizales	24838,8	11236,1	15597,7	7206,4	5740,0	5798,8	7676,8	7815,4	1820,6	1853,4	700,8	700,9
Balance	24838,8	11236,1	15597,7	7206,4	5740,0	5798,8	7676,8	7815,4	1820,6	1853,4	700,8	700,9

6.6.2.1. PASTIZALES QUE PERMANECEN COMO TALES

De acuerdo con el mapa de cobertura de la tierra 2017, las áreas de pastizales correspondieron a 1192878,26 ha. Se considera que las existencias en la biomasa área y subterránea junto a la materia orgánica muerta se han mantenido en equilibrio.

6.6.2.2. TIERRAS CONVERTIDAS EN PASTIZALES

Esta subcategoría abarca las emisiones y absorciones de CO₂ generadas como resultado del flujo de carbono en la biomasa y materia orgánica muerta de bosques secundarios y primarios hacia pastizales. En 2017, el balance de GEI de este componente contabilizó 700,9 Gg CO₂ eq, disminuyendo en 97 % y 62 % desde 1990 y 2015, respectivamente. La conversión de bosques primarios representó el 99,7 % de todas las emisiones registradas (Cuadro 6.26). Este comportamiento se ha mantenido durante toda la serie 1990-2017 (Figura 6.19).

Cuadro 6.26 Balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) de las tierras convertidas en pastizales para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

Tierras convertidas en pastizales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bosques primarios convertidos en pastizales	21718,4	9376,9	12778,9	5406,6	4145,0	4145,0	4556,1	4556,1	1166,6	1166,6	699,4	699,4
Bosques secundarios convertidos en pastizales	3120,4	1859,2	2818,8	1799,8	1595,0	1653,8	3120,6	3259,3	654,0	686,8	1,4	1,5
Balance	24838,8	11236,1	15597,7	7206,4	5740,0	5798,8	7676,8	7815,4	1820,6	1853,4	700,8	700,9

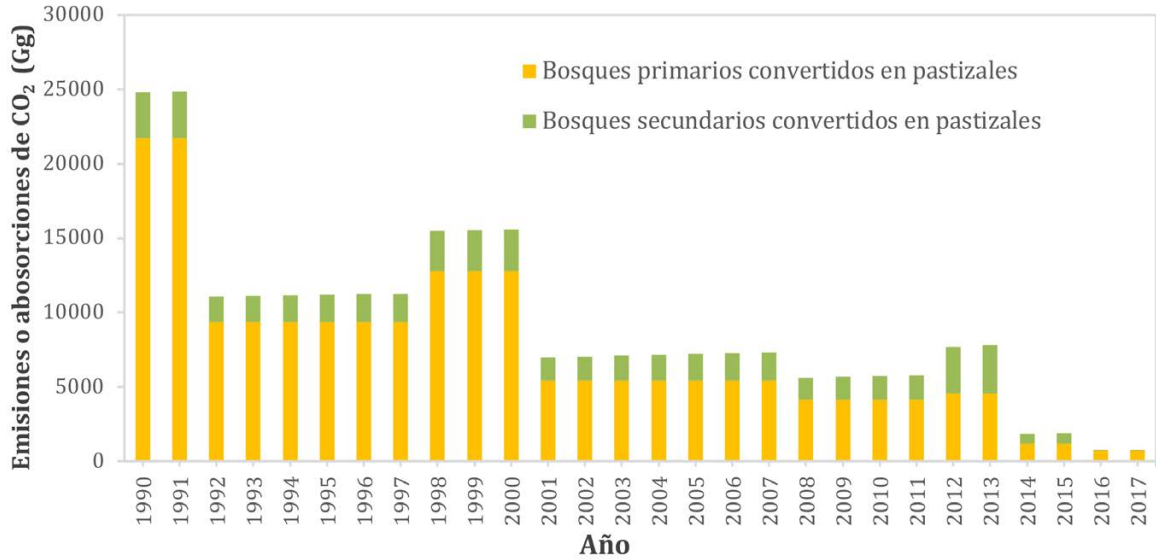


Figura 6.19 Emisiones y absorciones de CO₂ debidas a la conversión de bosques primarios y secundarios en pastizales para la serie 1990-2017.

6.6.2.2.1. BOSQUES PRIMARIOS CONVERTIDOS EN PASTIZALES

En 2017, los flujos de carbono desde los bosques primarios hacia pastizales presentaron un balance de las emisiones y absorciones de CO₂ de 699,43 Gg CO₂ eq. Este monto disminuyó en 97 % y 40 % desde 1990 y 2015, respectivamente. En términos absolutos, el flujo de carbono desde el yollalal primario hacia pastizales concentró el 100 % de las emisiones y absorciones generadas en 2017 (Cuadro 6.27). Dicho comportamiento diverge al resto de la serie 1990-2017, en donde las mayores emisiones se debieron a la pérdida de carbono de bosque muy húmedo y pluvial primario, y bosque húmedo primario (Figura 6.20).

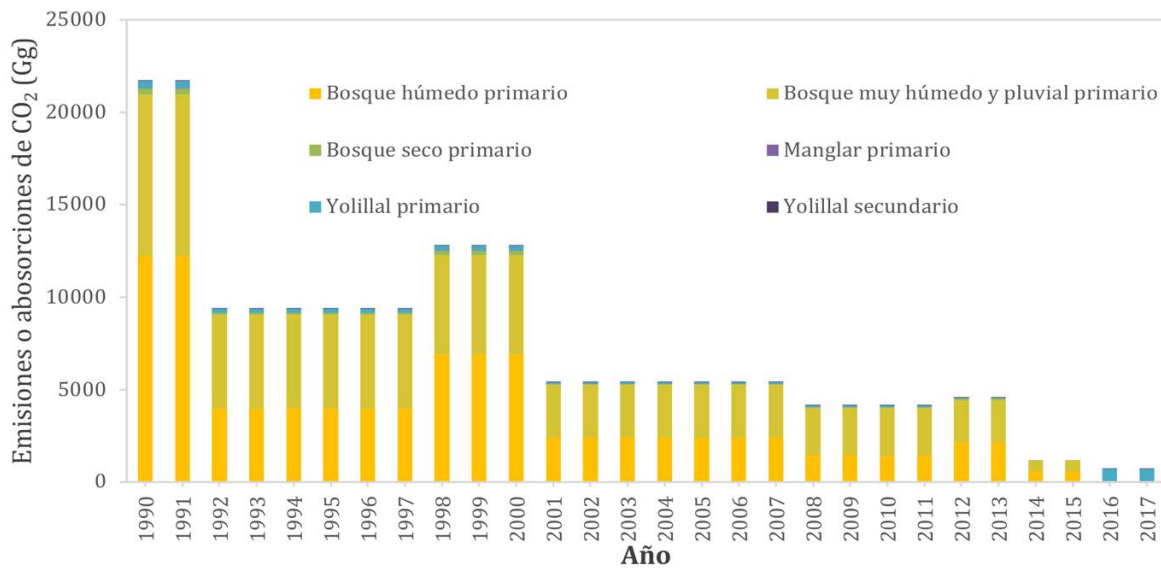


Figura 6.20 Emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) debidas a la conversión de bosques primarios en pastizales para la serie 1990-2017.

Cuadro 6.27 Balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) de los bosques primarios convertidos en pastizales por tipo de bosque para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

Bosques primarios convertidos en pastizales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bosque húmedo primario	12239,4	3950,9	6891,0	2398,9	1434,3	1434,3	2126,2	2126,2	572,5	572,5	NO	NO
Bosque muy húmedo y pluvial primario	8699,2	5080,7	5388,0	2862,0	2566,3	2566,3	2295,9	2295,9	585,0	585,0	NO	NO
Bosque seco primario	353,3	108,5	232,8	39,3	22,0	22,0	77,3	77,3	9,1	9,1	NO	NO
Manglar primario	51,0	9,7	33,6	9,7	6,9	6,9	5,7	5,7	NO	NO	NO	NO
Yolillal primario	375,6	227,2	233,6	96,6	115,4	115,4	51,1	51,1	NO	NO	699,4	699,4
Balance	21718,4	9376,9	12778,9	5406,6	4145,0	4145,0	4556,1	4556,1	1166,6	1166,6	699,4	699,4

6.6.2.2.2. BOSQUES SECUNDARIOS CONVERTIDOS EN PASTIZALES

Los bosques secundarios que transfirieron carbono hacia los pastizales, para el 2017, presentaron un balance de las emisiones y absorciones de 1,48 Gg CO₂ eq. Este monto disminuyó en 99 % desde 1990 y 2015. En términos absolutos, el flujo de carbono desde el bosque de manglar hacia pastizales concentró el 53 % de las emisiones generadas en 2017, mientras que el correspondiente al yolillal hacia pastizales el 47 % (Cuadro 6.28). Al igual que en bosques primarios, el bosque húmedo y muy húmedo y pluvial han registrado la mayor cantidad de emisiones durante la serie

Cuadro 6.28 Balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) de los bosques secundarios convertidos en pastizales por tipo de bosque para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

Bosques secundarios convertidos en pastizales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Bosque húmedo secundario	1821,2	850,4	1657,7	1106,7	930,8	968,4	1971,4	2061,0	431,6	454,5	NO	NO
Bosque muy húmedo y pluvial secundario	1278,3	987,2	1078,7	668,4	603,2	618,9	1082,3	1125,9	214,0	223,1	NO	NO
Bosque seco secundario	15,2	14,8	67,2	17,0	50,1	54,4	59,3	63,7	8,4	9,2	NO	NO
Manglar secundario	3,49	2,64	5,96	2,35	2,56	2,76	2,08	2,28	NO	NO	0,72	0,79
Yolillal secundario	2,28	4,12	9,23	5,38	8,42	9,36	5,62	6,29	NO	NO	0,69	0,70
Balance	3120,4	1859,2	2818,8	1799,8	1595,0	1653,8	3120,6	3259,3	654,0	686,8	1,40	1,48

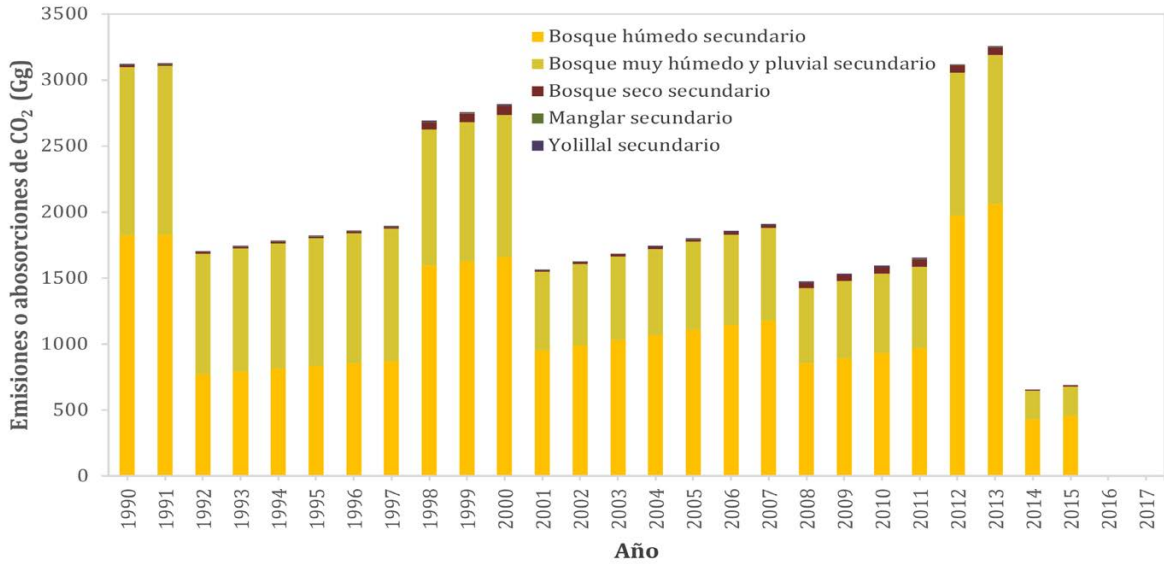


Figura 6.21 Emisiones y absorciones de CO₂ (Gg) debidas a la conversión de bosques secundarios en pastizales para la serie 1990-2017.

1990-2017. Por otro lado, durante el periodo 2001-2011, se presentó una disminución en las emisiones por la transferencia de carbono desde bosques secundarios hacia pastizales respecto al periodo 1998-2000. Estas se mantuvieron entre los 1500 y 2000 Gg CO₂ eq. No obstante, en el periodo 2012-2013, las emisiones registradas aumentaron, presentando los valores máximos de toda la serie, lo que se vio influenciado por la recuperación de tierras para la actividad ganadera en algunas regiones del país (Figura 6.21).

6.6.3. Metodología

La estimación de las emisiones y absorciones de CO₂ de los Pastizales siguiendo lo mencionado en la sección 6.5.3.

Dato de actividad

Igual a la sección 6.5.3.

Factor de emisión

Biomasa aérea y subterránea

Para la biomasa aérea y subterránea de los pastizales se emplearon valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* que se muestran en el cuadro 6.29. Para las tierras forestales convertidas en tierras de cultivo se utilizaron los mismos datos paramétricos de los bosques secundarios en crecimiento de la sección 6.4.3. La proporción de carbono en la biomasa arbórea utilizada para estimar el carbono absorbido fue de 47% (IPCC, 2006).

Cuadro 6.29 Dato paramétrico de la biomasa aérea y subterránea utilizado para pastizales

Categoría	Parámetro (Mg b.s. ha ⁻¹)	Fuente
Pastizales	8,7	IPCC (2006)

Materia orgánica muerta

Este depósito de carbono no se estimó, ya que se consideró un Nivel 1 donde las existencias de carbono son estables en todos los Pastizales que permanecen como tales. Asimismo, para las Tierras convertidas en pastizales se asume por defecto que se elimina toda la madera muerta y la hojarasca durante la conversión y que no permanecen ni se acumulan.

6.6.4. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Para asegurar la coherencia temporal todos los datos fueron obtenidos de las mismas fuentes indicadas anteriormente y se utilizó la misma metodología en toda la serie.

Incertidumbre

La incertidumbre se realizó empleando el método de propagación del error y el de Monte Carlo para el 2017 y cada componente de los pastizales. La incertidumbre combinada con propagación del error se estimó en 80,61 %. Para los datos de actividad se empleó un 30 % de incertidumbre asociado a la clasificación del material remoto utilizado. En el caso de los factores de emisión, los errores de estimación se buscaron en las fuentes de origen de los datos (Cuadro 6.30).

Cuadro 6.30 Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en los pastizales

Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)	Justificación de la incertidumbre del FE
3B.3. Pastizales					
Bosques primarios convertidos en pastizales	CO ₂	30	75	80,78	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.
Bosques secundarios convertidos en pastizales	CO ₂	30	75	80,78	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.

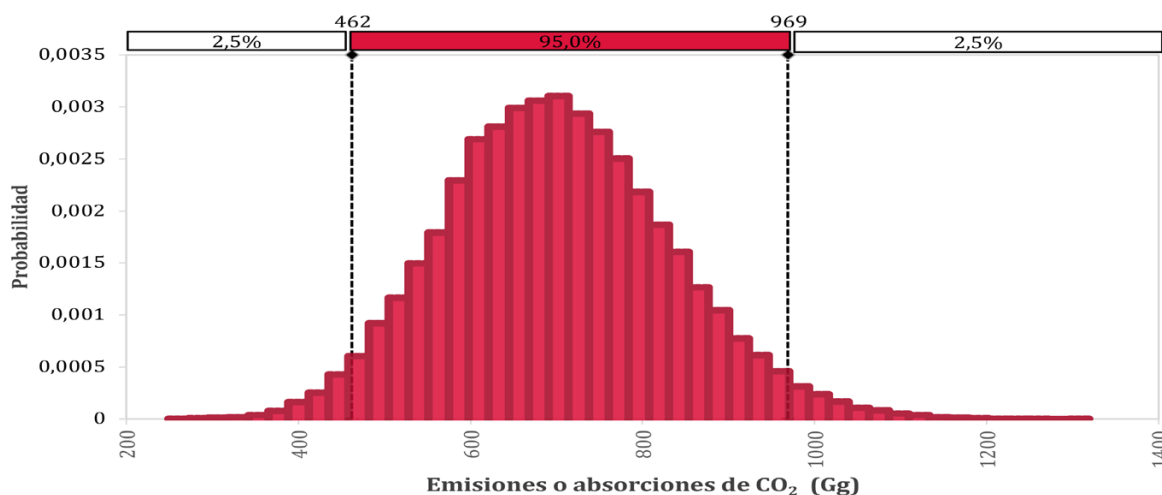


Figura 6.22 Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones de CO₂ totales en pastizales.

Al combinar los datos por medio de simulaciones de Monte Carlo, se obtuvo una media de 700,98 Gg CO₂eq a un 95 % de confianza. El rango de valor al nivel de confianza va desde los 762,37 Gg CO₂eq a 1060,31 Gg CO₂eq (IC: -34 %, +38 %) En la Figura 6.22 se muestran los resultados de la simulación. Para todos los parámetros y datos de actividad se asignó una función de densidad probalística normal.

6.6.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Para el control y garantía de calidad se siguió lo mencionado en la sección 6.4.5.

6.6.6. Recálculos

Al agrupar los recálculos de todas las subcategorías mostrados anteriormente existe una diferencia en todos los años de inventario. En el caso de los años 1990, 1996, 2000 y 2005, la diferencia se genera debido a que la metodología empleada en la estimación corresponde a la de las *Directrices del IPCC de 1996*, la cual consideraba otro abordaje para la estimación de las emisiones producto de la transferencia de carbono desde tierras forestales hacia pastizales (Figura 6.23). Asimismo, se actualizaron los datos de actividad de toda la serie de los bosques convertidos en tierras de cultivo utilizando la metodología generada por el Nivel de Referencia de REDD+ (MINAE, 2016). Esto provocó una variación en los datos de actividad respecto a los que se utilizaron en los inventarios de 2010, 2012 y 2015. En este último año se presentó la menor variación.

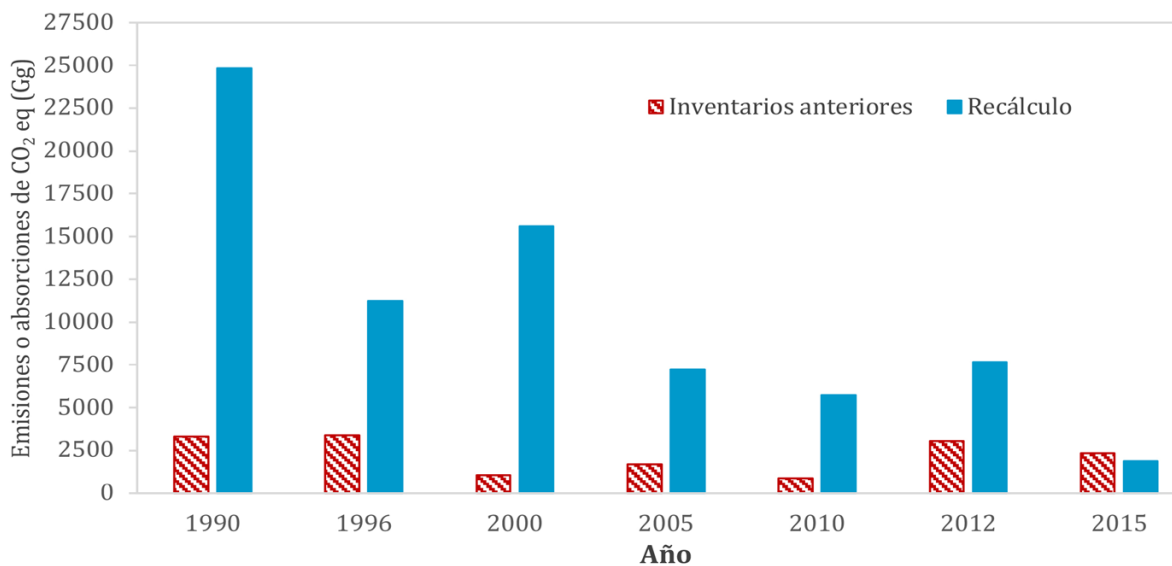


Figura 6.23 Recálculos para la categoría 3.B.2. Pastizales.

6.6.7. Plan de mejora

Para los pastizales, se considerará incluir para futuros inventarios:

- El carbono orgánico del suelo en pastizales.

- Avanzar en la estimación de las existencias y el secuestro de carbono y biomasa de los pastizales que permanecen como tales.
- Avanzar en la estimación de las pérdidas por remoción de madera que ocurren en los pastizales.
- El área de los pastizales que presentan alguna gestión forestal.
- Mejorar los datos de actividad de las tierras convertidas en pastizales.

6.7. Humedales (3.B.4)

6.7.1. Descripción de la categoría

Estas tierras incluyen áreas cubiertas o saturadas de agua durante todo el año o parte de este (por ejemplo, las turberas) y que no está dentro de las categorías de tierras forestales, tierras de cultivo, pastizal o asentamientos. En el país se consideran humedales marismas, pantanos, turberas, y superficies cubiertas de agua, sean estas de carácter natural, artificial, permanente, temporal, estancado, corriente, dulce, salobre o salado. Para el INGEI, se consideran tierras de humedales gestionados las tierras inundadas, correspondientes en el país a los embalses para la producción de energía hidroeléctrica.

6.7.2. Tendencia de las emisiones

En 2017, el balance de GEI registró una emisión neta de 49,3 Gg CO₂ eq, producto de las emisiones ocurridas en las tierras inundadas (Figura 6.24). Durante toda la serie temporal el balance es favorable a la emisión. Estas aumentaron en un 12 % y 7 % respecto a 1990 y 2015 (Cuadro 6.31). Dicho incremento está vinculada a la puesta en operación de nuevas centrales hidroeléctricas en el país. Para 2017, el aumento en las emisiones se vio influenciado por la entrada en operación del embalse de la Planta Hidroeléctrica Reventazón, en la vertiente caribe costarricense.

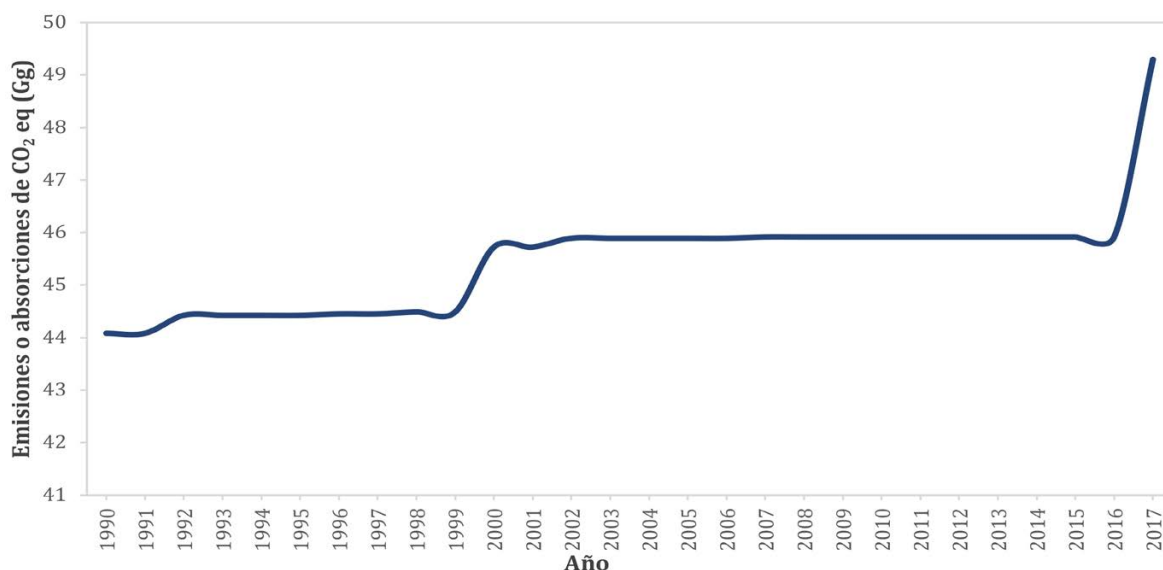


Figura 6.24 Emisiones y absorciones de CO₂ eq ocurridas en humedales para la serie temporal 1990-2017.

Cuadro 6.31 Humedales: balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg) por subcategoría, serie 1990-2017

Humedales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tierras inundadas que permanecen como tales	44,08	44,45	45,72	45,89	45,92	45,92	45,92	45,92	45,92	45,92	45,92	49,30
Humedales que permanecen como tales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Tierras convertidas en humedales y tierras inundadas	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE

6.7.2.1. HUMEDALES QUE PERMANECEN COMO TALES

Se considera que el área de humedales en el país no es gestionada. El área correspondiente a humedales de acuerdo con el mapa de cobertura de la tierra 2017 es de 38979,05 ha.

6.7.2.2. TIERRAS INUNDADAS

Para las tierras inundadas se consideraron las emisiones de CH₄ correspondientes a los embalses destinados a la generación hidroeléctrica. Para 2017, la emisión de metano correspondió a 2,35 Gg de CH₄, el equivalente a 49,3 Gg CO₂ eq (Cuadro 6.32). La tendencia en las emisiones ha estado vinculado al efecto mencionado en la sección 6.7.2 (Figura 6.25).

Cuadro 6.32 Emisiones de metano (Gg) de las tierras inundadas para los años de inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

Humedales	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Tierras inundadas	2,10	2,12	2,18	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,35

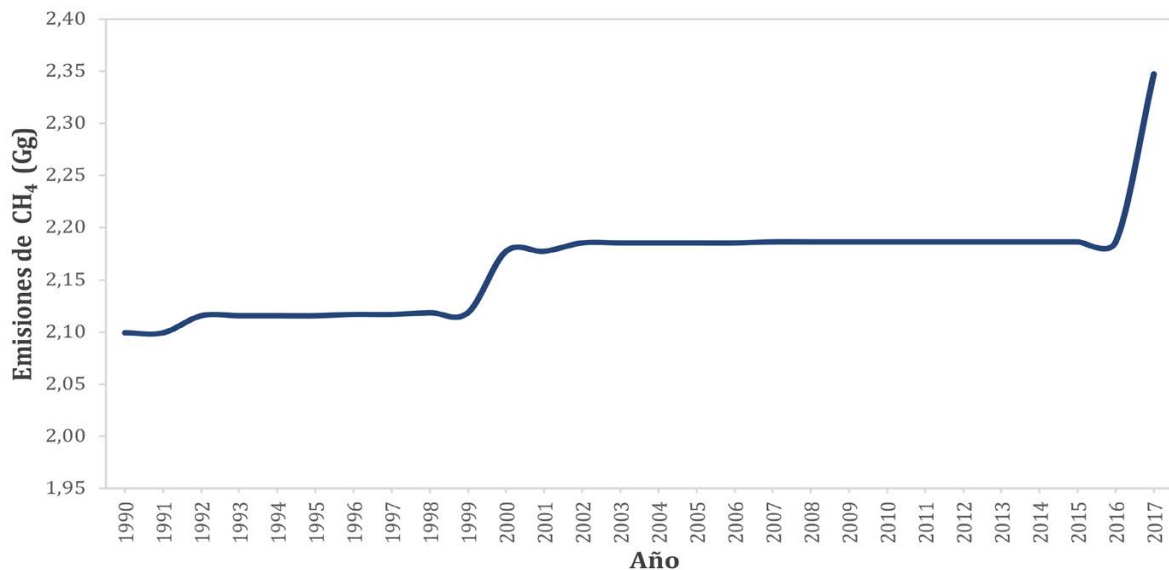


Figura 6.25 Emisiones de metano ocurridas en tierras inundadas para la serie 1990-2017.

6.7.3. Metodología

La estimación de las emisiones de los humedales se realizó siguiendo el abordaje metodológico descrito en el capítulo 7 y el apéndice 3 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006*. Para ello, se aplicó la ecuación 6.8.

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ Tierras inundadas} = P * E(\text{CH}_4)_{\text{Dif}} * A_{\text{inundación}_{\text{superficie}_{\text{total}}}} * 10^6 \quad (6.8)$$

Donde:

total de las emisiones de CH₄ provenientes de las tierras inundadas, Gg de CH₄ año⁻¹

P = periodo libre de hielos, días año⁻¹

promedio diario de las emisiones difusoras, kg de CH₄ ha⁻¹ día⁻¹

área total de la superficie inundada

Datos de actividad

Para estimar el área de los embalses para generación de energía hidroeléctrica se emplearon las estadísticas de los principales operadores del país.

Factor de emisión

Entre los mecanismos por medio de los cuales los embalses liberan CH₄ a la atmósfera destaca: la difusión en la interfase agua-aire, el burbujeo de metano, la descompresión del agua (“degassing”) al turbinarse y aguas abajo, y el flujo agua-aire a través de macrófitas (Blanco et al., 2019).

La metodología definida en las *Directrices del IPCC de 2006*, para las emisiones de CH₄ en tierras inundadas en el Nivel 1 sólo considera las emisiones por difusión. Se empleó el factor de emisión por defecto proporcionado por el IPCC, pues no existe a nivel nacional un factor de emisión que tenga la validez científica aún para considerarlo en la evaluación de emisiones. Existen algunos estudios realizados, pero se requiere más investigación al respecto.

6.7.4. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Para asegurar la coherencia temporal todos los datos fueron obtenidos de las mismas fuentes indicadas anteriormente y se utilizó la misma metodología en toda la serie.

Incertidumbre

La incertidumbre se realizó empleando el método de propagación del error y el de Monte Carlo para el 2017 para los humedales. La incertidumbre combinada con propagación del error se estimó en 1,66 %. Para los datos de actividad se empleó un 2 % de incertidumbre asociado al área de los embalses. En el caso de los factores de emisión, los errores de estimación se buscaron en las fuentes de origen de los datos (Cuadro 6.33).

Cuadro 6.33 Incertidumbre de propagación del error para las emisiones generadas en las tierras inundadas

Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)	Justificación de la incertidumbre del FE
3.B.4. Humedales					
Tierras inundadas	CH ₄	2	100	80,78	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.

Al combinar los datos por medio de simulaciones de Monte Carlo, se obtuvo una media de 53,48 Gg CO₂ eq a un 95 % de confianza. El rango de valor al nivel de confianza se muestra en la Figura 6.26 y va desde los 5,2 Gg CO₂ eq a 101,7 Gg CO₂ eq (IC: ±90%). Para todos los parámetros y datos de actividad se asignó una función de densidad probabilística normal.

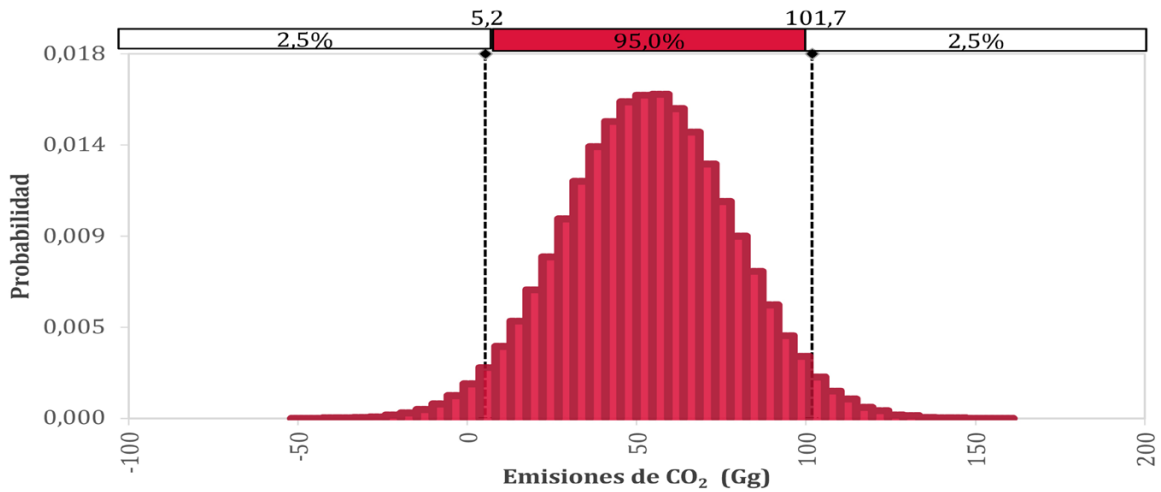


Figura 6.26 Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones (CO₂) totales en humedales.

6.7.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Para el control y garantía de calidad se siguió lo mencionado en la sección 6.4.5.

6.7.6. Recálculos

Al agrupar los recálculos de todas las subcategorías mostrados anteriormente existe una diferencia en algunos años de inventario. Esta categoría se empezó a estimar a partir de 2010, para ese año se realizó un cambio en los factores de emisión que se emplearon; en contraposición, los inventarios de 2012 y 2015 no sufrieron recálculos (Figura 6.27).

6.7.7. Plan de mejora

Para los humedales, se considerará incluir para futuros inventarios:

- La estimación de las emisiones siguiendo el Refinamiento de 2019 para las *Directrices del IPCC de 2006*.

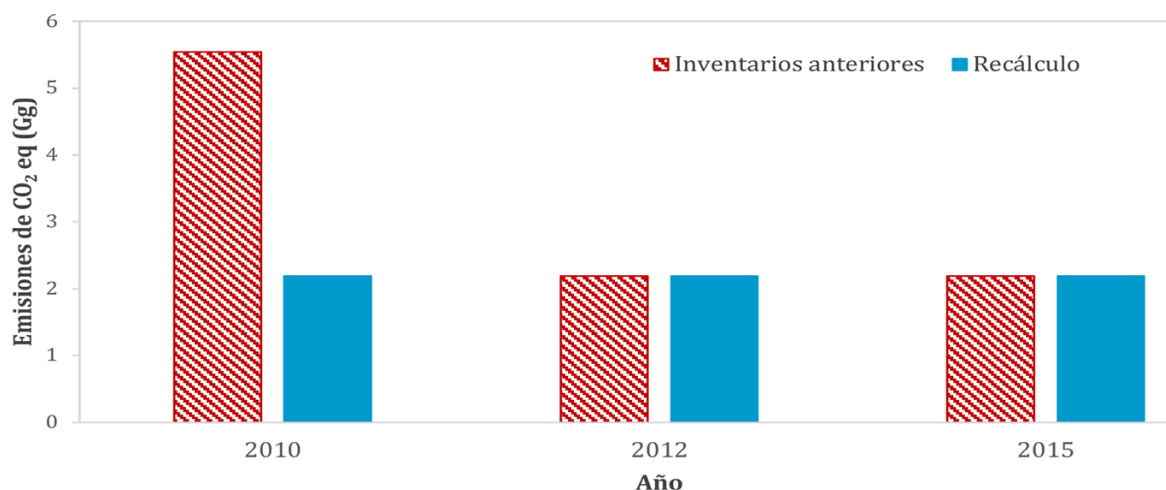


Figura 6.27 Recálculos para la categoría 3.B.3. Humedales.

6.8. Fuentes agregadas y fuentes no CO₂: Quema de biomasa en tierras forestales (3.C.1a)

6.8.1. Descripción de la categoría

En esta categoría se incluyen las emisiones de GEI (CH₄, N₂O) que ocurren en los incendios forestales. Las emisiones registradas dependen de los datos de actividad, los cuales varían en gran magnitud entre años debido, en parte, a las condiciones del clima. Las emisiones de CO₂ son reportadas como pérdidas por disturbios naturales en el apartado 6.4.2.1.3

Las emisiones que se contemplan dentro de esta categoría corresponden a incendios ocurridos en bosques secundarios y plantaciones forestales. En el caso de los bosques primarios, los incendios en estas áreas no se contemplan, ya que para efectos del INGEI no se consideran como tierras bajo gestión. Por otro lado, las emisiones de incendios en humedales y yolillales no se estimaron.

6.8.2. Tendencia de las emisiones

En 2017, se registraron 4255,51 ha que sufrieron incendios forestales, 96 % de las cuales se presentaron en bosques secundarios. En total, se contabilizaron de 1,84 Gg CH₄ y 0,05 Gg N₂O. Estas emisiones aumentaron entre un 9 % y 81 % respecto a 1990, mientras que disminuyeron en un 57 % respecto a 2015 (Cuadro 6.34). La magnitud de las emisiones fue variable durante toda la serie (Figura 6.28).

Cuadro 6.34 Incendios forestales: emisiones por gas en la serie 1990-2017

Incendios forestales (Gg Gas)	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CH ₄	1,01	2,57	0,91	0,17	1,48	0,47	3,51	5,63	1,4	4,36	4,54	1,84
N ₂ O	0,04	0,08	0,03	0,01	0,05	0,01	0,12	0,17	0,04	0,13	0,13	0,05

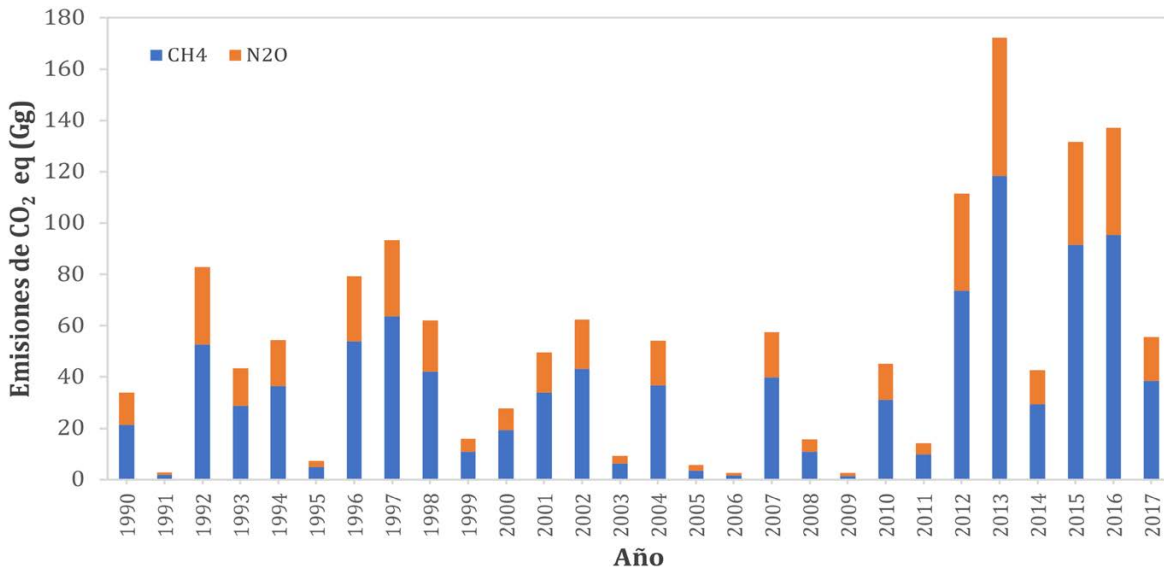


Figura 6.28 Emisiones de CO₂ eq (Gg) ocurridas en incendios forestales para la serie temporal 1990-2017.

6.8.3. Metodología

La estimación de las emisiones de GEI provocadas por los incendios forestales se desarrolló aplicando la ecuación 5.8 consistente con lo presentado por el capítulo 2 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC 2006*.

Dato de actividad

Para los datos de actividad se utilizaron las estadísticas sobre incendios forestales en bosques secundarios y plantaciones forestales (SINAC, 2020). Se ajustó el área de bosques secundarios por tipo de bosque siguiendo la definición de la sección 6.2 y por área de conservación reportada por SINAC (2020).

Factor de emisión

Para la masa de combustible disponible para la combustión se siguió lo mencionado en la sección 6.4.3 en lo relacionado a las pérdidas por disturbios naturales. Para el factor de combustión y el factor de emisión de materia seca quemada se emplearon datos por defecto de las *Directrices del IPCC 2006*.

6.8.4. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Para asegurar la coherencia temporal todos los datos fueron obtenidos de las mismas fuentes indicadas anteriormente y se utilizó la misma metodología en toda la serie.

Incertidumbre

La incertidumbre se realizó empleando el método de propagación del error y el de Monte Carlo para el 2017, esto para las emisiones de CH₄ y N₂O. La incertidumbre combinada con propagación

del error se estimó en 52,22 %. Para los datos de actividad se empleó un 30 % de incertidumbre asociado a la clasificación del material remoto utilizado. En el caso de los factores de emisión, los errores de estimación se buscaron en las fuentes de origen de los datos (Cuadro 6.35).

Cuadro 6.35 Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en las tierras forestales

Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)	Justificación de la incertidumbre del FE
3C1.a. Fuentes agregadas y fuentes no CO₂: Quemadas de biomasa forestal					
Quemas: Tierras forestales	CH ₄	30	62	68,88	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.
Quemas: Tierras forestales	N ₂ O	30	62	68,88	Se asignó el valor de bosque húmedo debido a que tiene mayor peso en las absorciones.

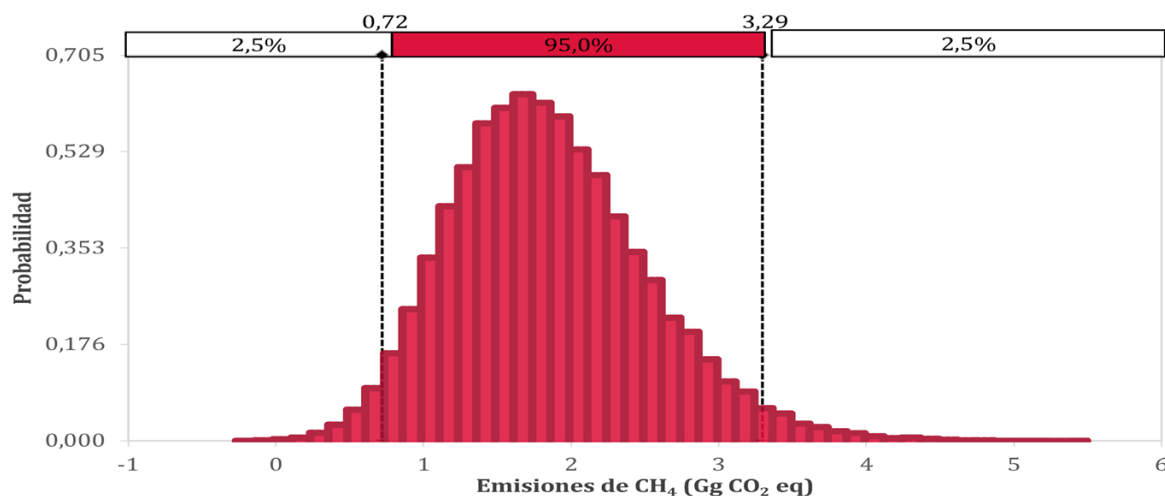


Figura 6.29 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CH₄ (Gg CO₂ eq) generadas en incendios forestales

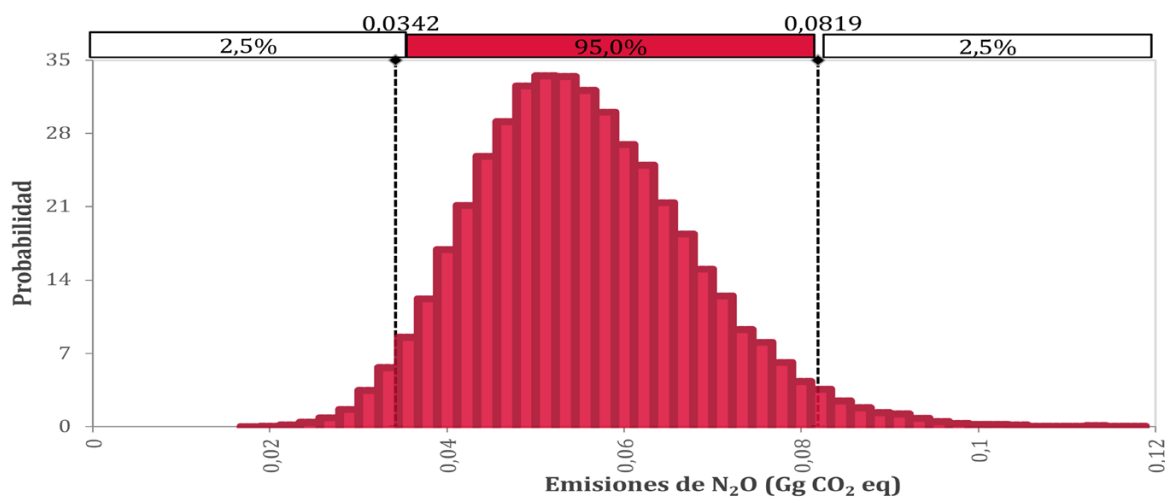


Figura 6.30 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de N₂O (Gg CO₂ eq) generadas en incendios forestales.

Al combinar los datos por medio de simulaciones de Monte Carlo, se obtuvo para el CH₄ la simulación mostrada en la Figura 6.29 con una media de 1,85 Gg CO₂ eq a un 95 % de confianza. El rango de valor al nivel de confianza va desde los 0,72 Gg CO₂ eq a 3,29 Gg CO₂ eq (IC: -61 %, +78 %). Para el caso del N₂O (Figura 6.30), se obtuvo una media de 0,06 Gg CO₂ eq a un 95 % de confianza, con un rango al 95 % de confianza de 0,03 Gg CO₂ eq y 0,48 Gg CO₂ eq (IC: -38 %, +48 %). Para los parámetros y datos de actividad se asignó una función de densidad probabilística normal.

6.8.5. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Para el control y garantía de calidad se siguió lo mencionado en la sección 6.4.5.

6.8.6. Recálculos

Los valores del recálculo de las emisiones en Gg CO₂ eq para los inventarios de 1990, 1996, 2000 y 2005 se deben al cambio en la metodología en las directrices para inventarios de nacionales de GEI. Para el caso de 2010, 2012 y 2015 se realizó un cambio en los factores de emisión empleados, específicamente, en la masa de combustible disponible para la combustión (Figura 6.31).

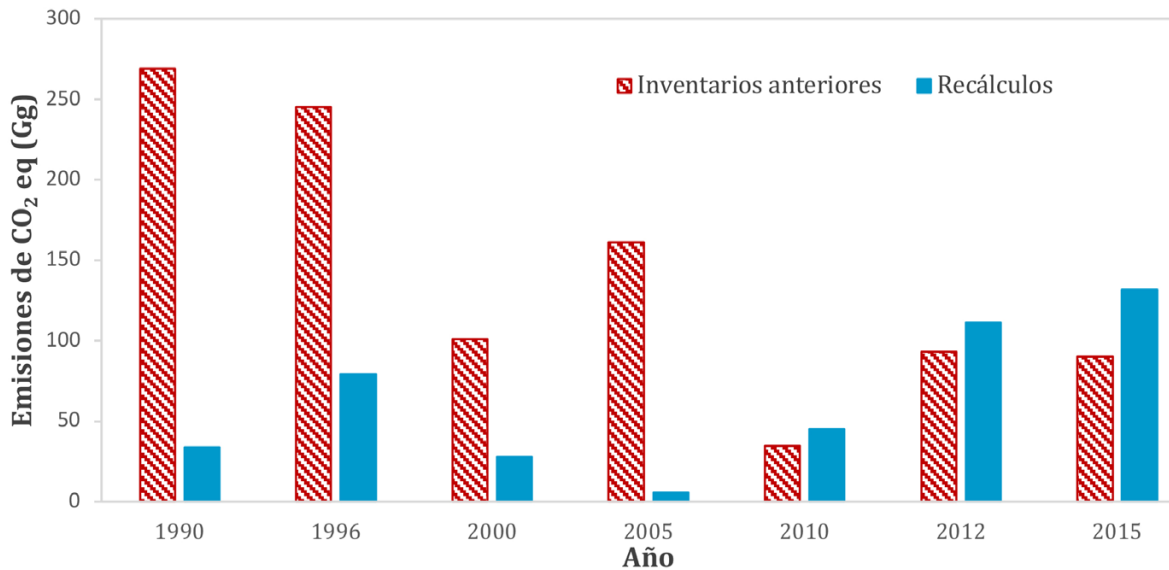


Figura 6.31 Recálculos para la categoría 3.C.1a. Quemadas de biomasa forestal.

6.8.7. Plan de mejora

Para las emisiones de quemadas de biomasa forestal, se considerará incluir para futuros inventarios:

La estimación de la masa de combustible disponible para la combustión de plantaciones forestales empleando valores nacionales.

6.9. Fuentes agregadas y fuentes no CO₂: Productos de Madera Recolectada (3.D.1)

6.9.1. Descripción de la categoría

Los Productos de Madera Recolectada (PMR) abarcan todo el material de madera que se extrae de los sitios de recolección. Estos pueden comportarse como una fuente o sumidero de CO₂, y están determinados por el abastecimiento de madera cosechada, el uso final de los productos de madera y la vida útil.

En Costa Rica se ha documentado la madera proveniente de varias fuentes para diferentes usos. Para efectos del Inventario Nacional de GEI de 2017, los PMR incluidos son los que provienen de plantaciones forestales. Asimismo, se consideran como usos de esta madera la construcción, el embalaje, la mueblería, la exportación en bruto y aserrada, entre otros usos. Estos últimos integran la elaboración de contrachapados, plywood, postes, palillos de dientes y tableros. Los productos de papel se excluyen debido a que en Costa Rica a la fecha no se producen.

6.9.2. Tendencia de las emisiones

El reservorio de los PMR provenientes de plantaciones forestales registró un balance de -402,38 Gg CO₂ eq en 2017. Asimismo, estos han sido un sumidero neto durante toda la serie 1990-2017, en donde las absorciones aumentaron en un 422 % desde 1990 y en un 2 % desde 2015 (Cuadro 6.36). Durante la década de 1990, el aporte de PMR experimentó un crecimiento exponencial que tuvo su cúspide en 2007, cuando se alcanzaron -649,18 Gg CO₂ eq. Luego de ese año, experimentó una reducción en el aporte debido al impacto de la recesión económica de 2009. A partir de 2011, se han presentado fluctuaciones que no alcanzaron los valores registrados en 2007. Durante el periodo 2015-2017, el aporte de PMR se mantuvo entre los 390 y 402 Gg CO₂ eq (Figura 6.32).

El componente más importante de los PMR provenientes de plantaciones ha sido los embalajes, los cuales concentraron el 50 % del aporte en 2017. Le sigue las exportaciones en bruto y aserradas con el 25 % y 11 % del aporte para ese mismo año, respectivamente. Los otros usos fue el único uso de la madera que presentó emisiones para el 2013, 2016 y 2017. Este comportamiento está influenciado por la baja en la producción de estos por parte de la industria forestal costarricense (Cuadro 6.36).

Cuadro 6.36 Productos de madera recolectada provenientes de plantaciones forestales: balance de emisiones y absorciones de CO₂ eq (Gg), serie 1990-2017

Productos de madera recolectada	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Construcción	-1,5	-4,5	-53,4	-143,6	-58,2	-61,7	-87,9	-62,2	-69,7	-59,7	-52,6	-35,3
Mueblería	-3,1	-3,5	-6,4	-29,6	-63,9	-41,1	-45,1	-13,4	-27,7	-14,8	-27,5	-26,3
Embalajes	-4,7	-33,5	-72,4	-212,8	-249,9	-163,3	-207,4	-215,2	-196,3	-137,0	-215,4	-199,9
Exportación en bruto	NO	NO	-2,5	-38,8	-90,9	-103,6	-134,9	-101,6	-124,1	-32,6	-43,3	-100,1
Exportación aserrada	NO	NO	-0,8	-1,3	-0,9	-0,1	-2,6	-2,0	-12,2	-65,2	-59,9	-42,8
Otros usos	NO	NO	-5,4	-16,1	-13,8	-5,2	-8,3	1,5	-10,0	-87,0	3,2	2,0
Balance	-9,3	-41,5	-140,9	-442,2	-477,7	-374,9	-486,1	-392,9	-440,1	-396,3	-395,6	-402,4

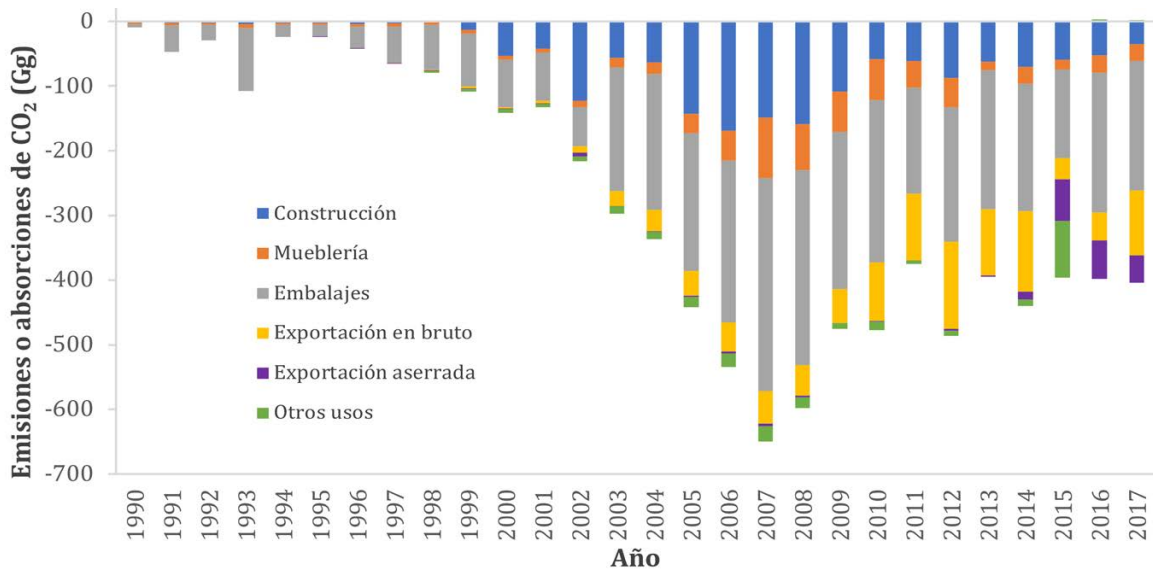


Figura 6.32 Aporte de los productos de madera recolectada provenientes de plantaciones forestales por uso de la madera en Costa Rica para la serie temporal 1990-2017.

6.9.3. Metodología

La estimación de las emisiones y absorciones de GEI de PMR provenientes de plantaciones forestales se realizó siguiendo la aplicación del Capítulo 12 del Volumen 4 de las *Directrices del IPCC de 2006*. Asimismo, algunas decisiones metodológicas tomaron como base las *Directrices del 2013 de Buenas Prácticas y Métodos Complementarios* que surgen del Protocolo de Kioto (IPCC, 2014).

El enfoque metodológico utilizado fue el de “producción”, el cual estima los cambios en las existencias de carbono a partir de la madera cosechada en el país que declara, incluyendo la cosecha doméstica que se destina a la exportación, pero excluyendo las importaciones. Para ello se estimaron las variables 2A, 2B y 5 (Tabla 12.1; IPCC, 2006), donde (A y B) representan el “cambio anual en el reservorio de carbono en a) productos en uso () y b) productos en SEDS de madera que proviene de cosecha doméstica ()”. La variable 5 corresponde al “carbono en la cosecha anual de madera en rollo para productos – madera retirada de sitios de cosecha en el país que reporta, incluyendo leña (H)”.

Datos de actividad

Para los datos de actividad se empleó un nivel 2, ya que se recurrió a estadísticas nacionales tomando como base los informes de usos y aportes de la madera que elabora la Oficina Nacional Forestal (ONF; Barrantes y Salazar, 2007; ONF, 2009; Barrantes et al., 2011; Barrantes y Ugalde, 2012-2017) y estadísticas de la construcción (INEC, 2014). Para la década de 1990, los datos fueron complementados con los valores presentados por Arce y Barrantes (2004), Calderón (2000) y los boletines estadísticos de la Dirección General Forestal (DGF, 1994; Canet *et al.*, 1996). Los datos de actividad de las exportaciones de madera se obtuvieron del portal estadístico de PROCOMER (2018) y la Dirección General de Estadística y Censo (DGEC, 1990-1997).

Factor de emisión

Los factores de emisión empleados para PMR contemplaron:

- Densidades específicas de la madera y fracciones de carbono (Cuadro 6.37),
- Tasas de descomposición de los productos de la madera en uso y en SEDS (Cuadro 6.38),
- Fracción de carbono orgánico degradable que se descompone en SEDS (Cuadro 6.37),
- Fracción de residuos que se destinan a SEDS o combustión empleado en inventarios nacionales de GEI (Cuadro 6.37).

Cuadro 6.37 Datos paramétricos empleados en la estimación del balance de GEI para productos de madera recolectada

Parámetro	Valor	Fuente
Densidad de la madera (g/cm ³)	0,45	Ugalde, Alice y Rodríguez, 2019
Fracción de carbono	5,88	Ugalde, Alice y Rodríguez, 2019
Fracción de carbono orgánico degradable que se descompone en SEDS	0,5	IPCC, 2006
Fracción de residuos que se destinan a SEDS o combustión	0,877906	IMN, 2014

Cuadro 6.38 Tasas de descomposición utilizadas en la elaboración aporte de PMR en Costa Rica

Uso de la madera	Vida media (años)	k (Tasa de descomposición $\ln(2)/\text{vida media}$)
Construcción	35	0,020
Mueblería	35	0,020
Exportaciones en bruto y aserradas	35	0,020
Otros usos	25	0,028
Embalajes	6	0,116
Residuos de aserraderos	10	0,069
Rellenos sanitarios	20	0,035
Botaderos a cielo abierto	16,5	0,042

Fuente: (Ugalde, Alice y Rodríguez, 2019)

6.9.4. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Para asegurar la coherencia temporal todos los datos fueron obtenidos de las mismas fuentes indicadas anteriormente y se utilizó la misma metodología en toda la serie.

Incertidumbre

La incertidumbre se realizó empleando el método de propagación del error y el de Monte Carlo para el 2017. La incertidumbre combinada con propagación del error se estimó en 7,35 %. Para los datos de actividad se empleó un 15 % de incertidumbre asociado a los valores de volumen rollizo. En el caso de los factores de emisión, los errores de estimación se buscaron en las fuentes de origen de los datos (Cuadro 6.39).

Cuadro 6.39 Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en las tierras forestales

Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)	Justificación de la incertidumbre del FE
3.D.1 Productos de madera recolectada					
Plantaciones forestales	CO ₂	15	100	100,01	Se emplea el valor máximo de los parámetros utilizados.

Al combinar los datos por medio de simulaciones de Monte Carlo (Figura 6.33), se obtuvo una media de -392,73 Gg CO₂eq a un 95 % de confianza. El rango de valor al nivel de confianza va desde los -670 Gg CO₂eq a -175 Gg CO₂eq (IC: -71 %, +55 %). Para los parámetros y datos de actividad se asignaron funciones de densidad probabilística normal y triangular.

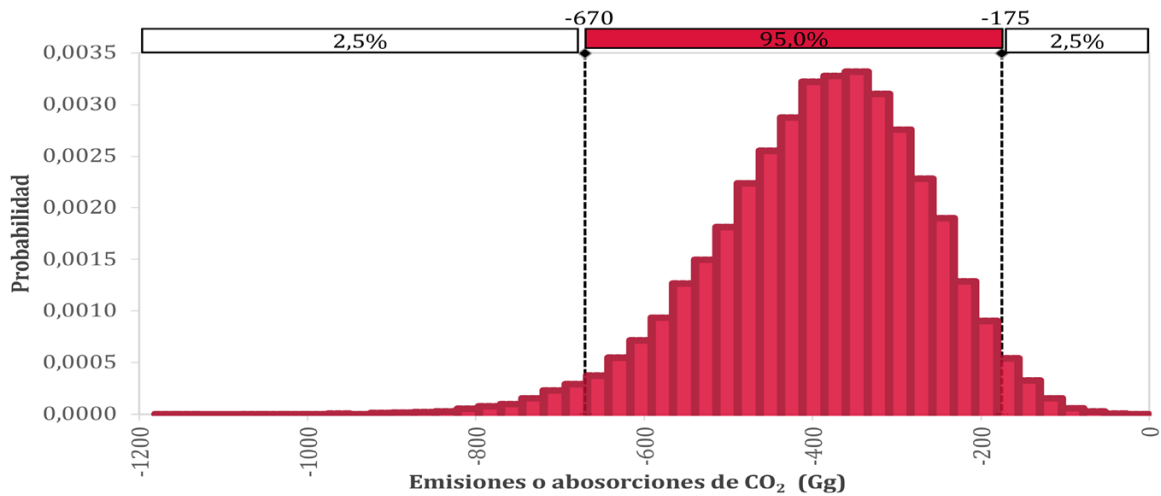


Figura 6.33 Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones de CO₂(Gg) generadas en los productos de madera recolectada.

6.9.5. Procedimiento de garantía y control de calidad

Para el control y garantía de calidad se siguió lo mencionado en la sección 6.4.5. Adicionalmente, las bases de datos y la herramienta para estimar el aporte de PMR fue sometido a un control de calidad externo (Ugalde, Alice y Rodríguez, 2019.).

6.9.6. Recálculos

Esta categoría se empezó a incluir en el 2015, el cambio obedece a una verificación del resultado arrojado por la herramienta de PMR elaborada para los inventarios de GEI de Costa Rica y la coherencia con las pérdidas por remoción de madera y tierras manejadas reportadas (Figura 6.34).

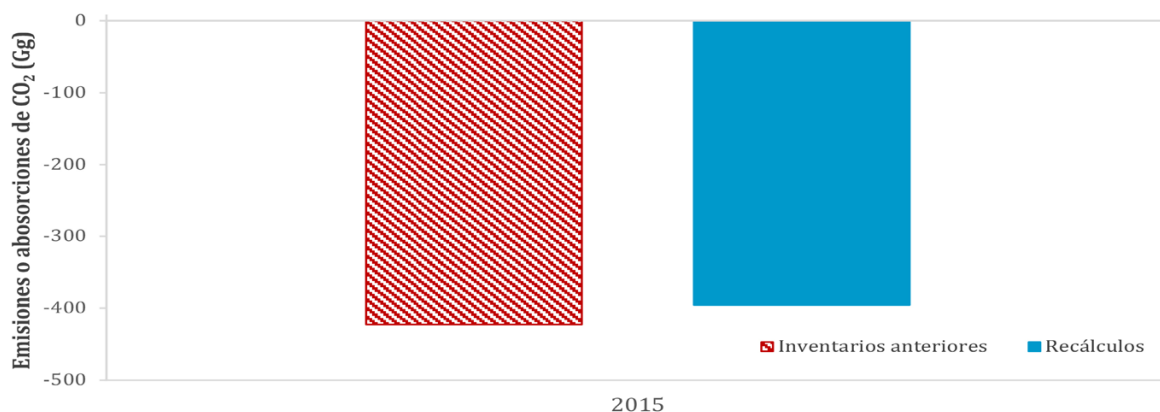


Figura 6.34 Recálculos para la categoría 3.D.1 Productos de Madera Recolectada.

6.9.7. Plan de mejora

Para los productos de madera recolectada, se considerará incluir para futuros inventarios:

- Avanzar en la inclusión de los productos de madera provenientes de bosques, tierras de cultivo y pastizales manejados.
- Avanzar en la estimación del aporte de PMR utilizando el Refinamiento de 2019 para las *Directrices del IPCC de 2006*.

6.10. Incertidumbre del sector

Para todo el sector silvicultura y otros usos de la tierra, se obtuvo una incertidumbre por propagación del error de 75,13 %. Los porcentajes asignados a los factores de emisión y datos de actividad de cada componente de uso de la tierra se describen en los apartados de cada categoría.

Por su parte, empleando el método de Monte Carlo, se obtuvo una media en el total de las emisiones de CO₂ eq para el 2017 del sector silvicultura y otros usos de la tierra de -2957,48 Gg. Los

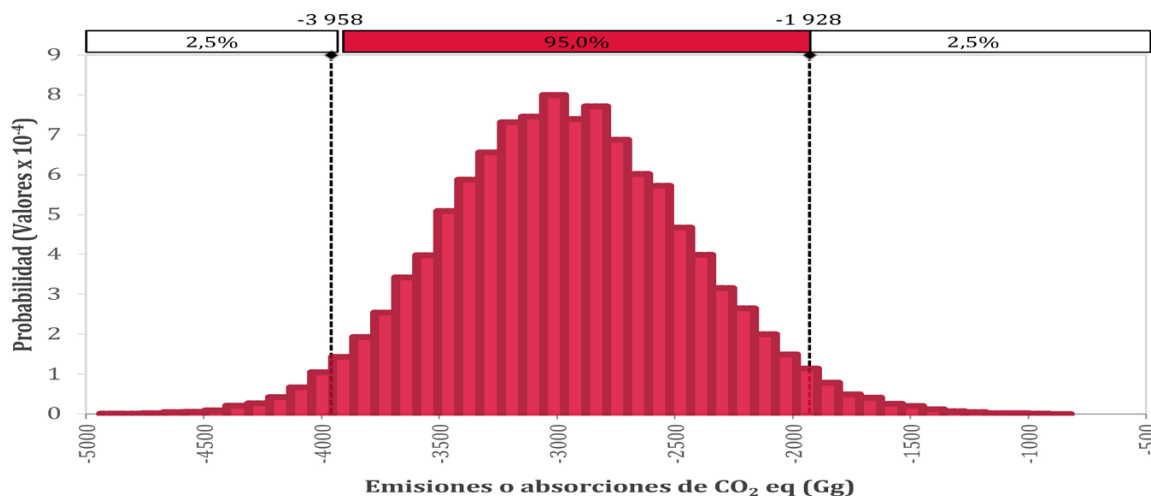


Figura 6.35 Simulación de Monte Carlo de las emisiones y absorciones de (Gg CO₂ eq) generadas en el sector silvicultura y otros usos de la tierra para el 2017.

Cuadro 6.40 Incertidumbre de propagación del error para las emisiones y absorciones generadas en el sector silvicultura y otros usos de la tierra en el 2017.

Categoría del IPCC	Gas	Incertidumbre de los datos de la actividad (±%)	Incertidumbre del FE (±%)	Incertidumbre combinada (±%)	Aporte a la varianza
Forestal y uso de la tierra					
Crecimiento de plantaciones forestales	CO ₂	30	30	42,4	3,59E-03
Crecimiento de bosques secundarios	CO ₂	30	11	32,1	4,04E-01
Pérdidas por disturbios naturales	CO ₂	30	62	68,9	6,13E-02
Pérdidas por remoción de madera	CO ₂	15	30	33,5	1,45E-02
Tierras convertidas en tierras forestales	CO ₂	30	11	32,1	1,66E-04
Bosques primarios convertidos en cultivos anuales	CO ₂	30	75	80,8	1,93E-02
Bosques secundarios convertidos en cultivos anuales	CO ₂	30	75	80,8	5,49E-03
Bosques primarios convertidos en cultivos permanentes	CO ₂	30	75	80,8	8,82E-05
Bosques secundarios convertidos en cultivos permanentes	CO ₂	30	75	80,8	6,30E-04
Bosques primarios convertidos en pastizales	CO ₂	30	75	80,8	3,62E-02
Bosques secundarios convertidos en pastizales	CO ₂	30	75	80,8	1,63E-07
Tierras inundadas	CH ₄	2	100	100,02	2,76E-04
Quemas: Tierras forestales	CH ₄	30	62	68,9	8,00E-05
Quemas: Tierras forestales	N ₂ O	30	62	68,9	1,56E-05
Productos de madera	CO ₂	15	100	101,12	1,88E-02
<i>Total</i>					0.56
				Porcentaje de incertidumbre del sector	75,13%

valores fluctúan entre los -3958 Gg CO₂ eq y -1928 Gg CO₂ eq al 95 % de confianza (IC: -34 %, +35 %; Figura 6.35). Las funciones de densidad probabilística utilizada en el modelo se describen en cada uno de los apartados de cada categoría de uso de la tierra.

6.11. Recálculos del sector

Los valores obtenidos en el sector silvicultura y otros usos de la tierra para todos los años de inventarios de GEI anteriores fueron diferentes respecto al recálculo realizado en este ciclo de inventario (Figura 6.36). Las diferencias se deben, en todos los años, a cambios metodológicos en la obtención de los datos de actividad, así como en los factores de emisión empleados. Cabe destacar que, para los inventarios de 1990, 1996, 2000 y 2005 el enfoque metodológico utilizado fue el

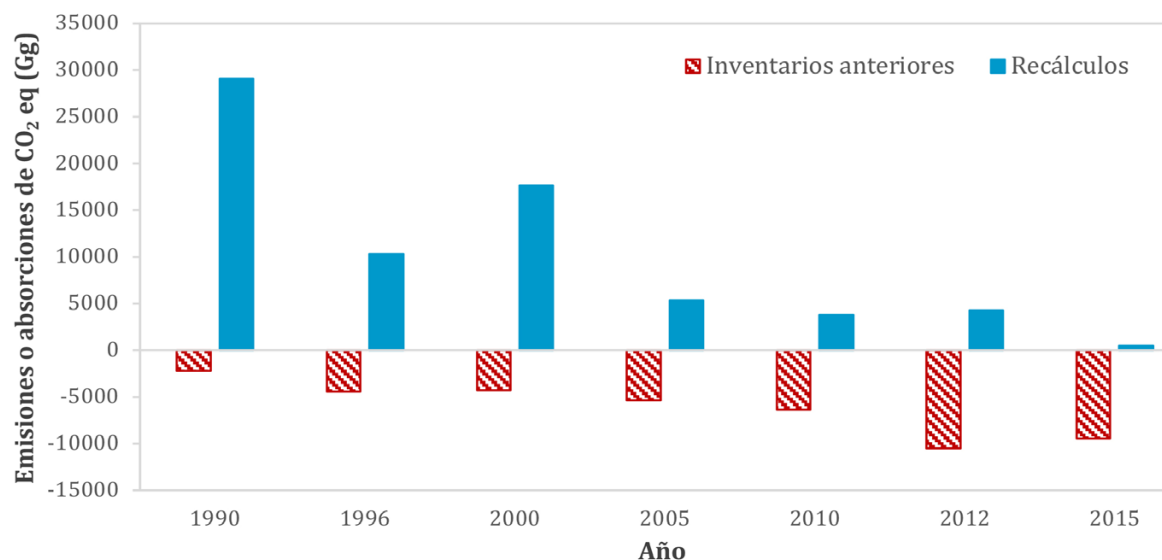


Figura 6.36 Recálculos para el sector silvicultura y otros usos de la tierra.

sugerido por las *Directrices del IPCC de 1996*. El detalle de los recálculos desglosado por categoría de uso de la tierra según componente se describe en sus respectivos apartados.

6.12. Plan de mejora del sector

Referirse a las secciones de plan de mejora de cada categoría.

6.13. Emisiones de otros gases y carbono negro

Las emisiones de otros gases se dan **únicamente** en la categoría 3C1.a. Quemadas de biomasa forestal y se muestran para el año 2017.

Cuadro 6.41 Emisiones de otros gases y carbono negro en el sector FOLU en 2017

Incendios forestales (Gg Gas)	2017
NO _x	1,7
CO	66,1
Carbono negro	0,068

7. SECTOR RESIDUOS

7.1. Panorama del sector

7.1.1. Introducción

En este sector del INGEI se contabilizan las emisiones en la atmósfera generadas en los diferentes tratamientos y eliminación de residuos sólidos y aguas residuales. Para las estimaciones se utilizaron las *Directrices del IPCC de 2006* para elaboración de inventarios nacionales de emisiones, específicamente el Volumen 5 Desechos y en los casos en que se requirió, se consultó el volumen 2 Energía; además, se consultó el Volumen 5 del *Refinamiento de 2019 de las Directrices del IPCC de 2006*. Cada categoría y subcategoría se describe individualmente en este documento, incluyendo: la descripción de la actividad, metodología, incertidumbre y consistencia temporal, control de calidad y verificación, recálculos y plan de mejora, obtención del dato de actividad y resultado de las emisiones por gas

Las categorías y subcategorías estimadas, así como los gases emitidos se muestran en el cuadro 7.1.

En este capítulo, las emisiones también están expresadas como CO₂ equivalente, para esto, se utilizaron los potenciales de calentamiento global del *Segundo Reporte de Evaluación del IPCC (SAR)*, presentados en el cuadro 7.2.

Cuadro 7.1 Categorías estimadas en el sector residuos

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
4.A. Eliminación de residuos sólidos		X	
4.B. Tratamiento biológico de los residuos sólidos		X	X
4.C. Incineración e incineración abierta de residuos			
4.C.2. Incineración abierta de residuos	X	X	X
4.D. Tratamiento y eliminación de aguas residuales		X	X

Cuadro 7.2 Potenciales de calentamiento global (PCG) utilizados

Gas	PCG
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

7.1.2. Panorama general de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector

En 2017, las emisiones totales del sector fueron de 2138,5 Gg de CO₂ eq, las cuales representaron un aumento de 0,9 % con respecto a 2016, 2,2 % mayores que las del último año de inventario (2015) y desde 1990 han crecido un 110,3 %. En el cuadro 7.3 se muestra la evolución de las emisiones del sector por categorías para los años de inventarios anteriores realizados en el período

Cuadro 7.3 Emisiones del sector Residuos (en Gg de CO₂ eq) para inventarios nacionales de GEI de Costa Rica

CATEGORÍAS DE FUENTES DE GEI	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
4.A. Eliminación de desechos sólidos	443,4	610,2	718,3	901,2	1059,7	1073,9	1105,2	1132,4	1156,1	1177,9	1193,8	1204,8
4.B. Tratamiento biológico de los desechos sólidos	NO	NO	NO	NO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7
4.C. Incineración e incineración abierta de residuos	30,8	50,7	66,4	86,6	94,3	94,9	95,3	95,5	96,0	95,3	94,4	93,5
4.D. Tratamiento y eliminación de aguas residuales	542,4	630,5	687,5	733,5	776,7	786,0	801,5	796,5	810,4	817,9	831,0	839,5
Total	1016,7	1291,4	1472,1	1721,3	1930,7	1954,9	2002,1	2024,6	2062,9	2091,5	2119,7	2138,5

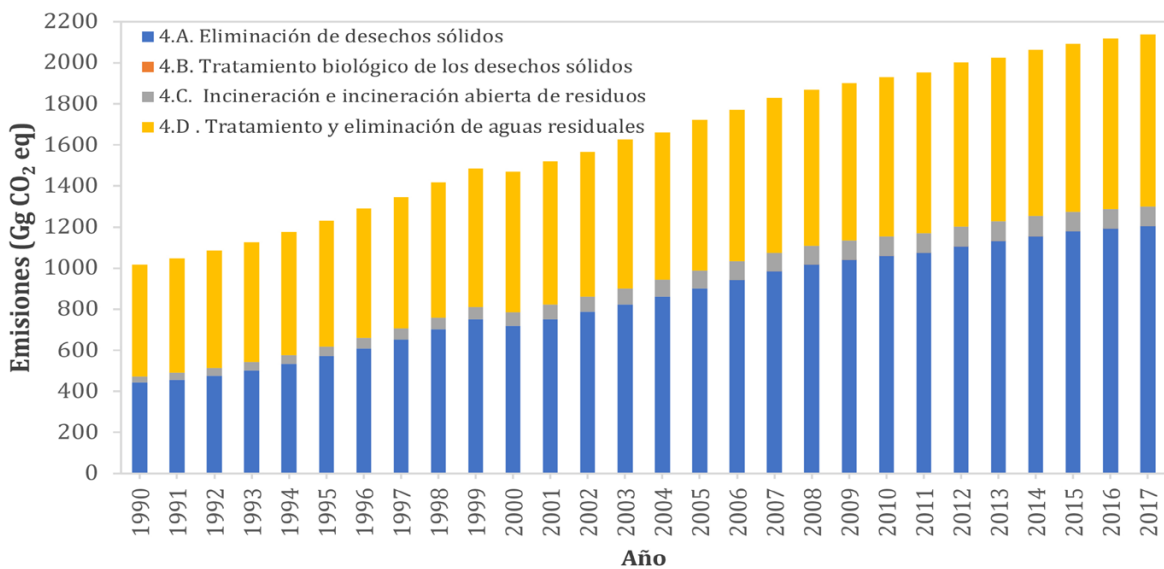


Figura 7.1 Histórico de las emisiones del sector Residuos.

1990-2017 y para los últimos 6 años, recalculados con las *Directrices del IPCC de 2006*. Por tipo de gas, en 2017, se emitieron 69,10 Gg de CO₂, 94,60 Gg de CH₄ y 0,209 Gg de N₂O. La serie completa se muestra en la Figura 7.1 y se observa un crecimiento sostenido de las emisiones, aunque existen algunos pequeños cambios que serán indicados por categoría más adelante

En la Figura 7.2 se muestra la distribución relativa de las emisiones por categoría de fuente del sector residuos para el 2017, en donde las emisiones debidas a la eliminación de desechos son las que contribuyen más con un 56,34 %, seguidas de las emisiones por el tratamiento y eliminación de aguas residuales con 39,26 %. Por último, en menor proporción, la incineración abierta de residuos con 4,4 % y la categoría 4.B.

En cuanto a la tendencia, como se muestra en la Figura 7.3, la categoría con mayor crecimiento desde 1990 es la de incineración abierta de residuos con un 203,6 %, no se reporta ningún cambio en la categoría 4.B desde 1990 debido a que no se reporta producción de compost en ese año. Con respecto al último inventario (2015) el sector creció 2,2 %, debido principalmente al crecimiento de la categoría 4.A. Con respecto al año anterior, las emisiones que más crecieron fueron las de la categoría 4.B con un 23,1 %, lo que combinado con las otras categorías generó un aumento de 0,9 % en las emisiones del sector.

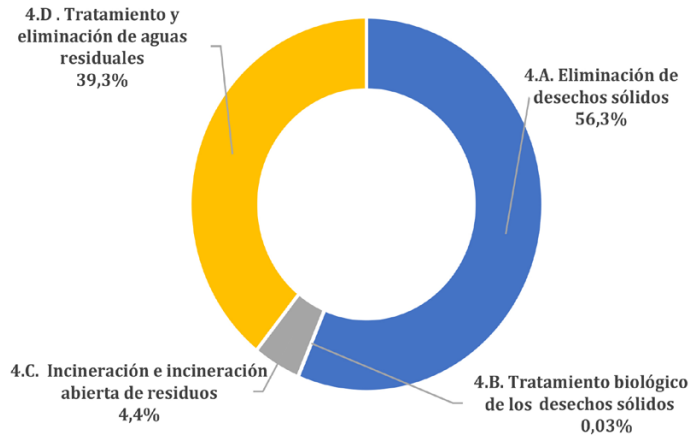


Figura 7.2 Distribución relativa por categoría de fuente de las emisiones del sector Residuos en el 2017

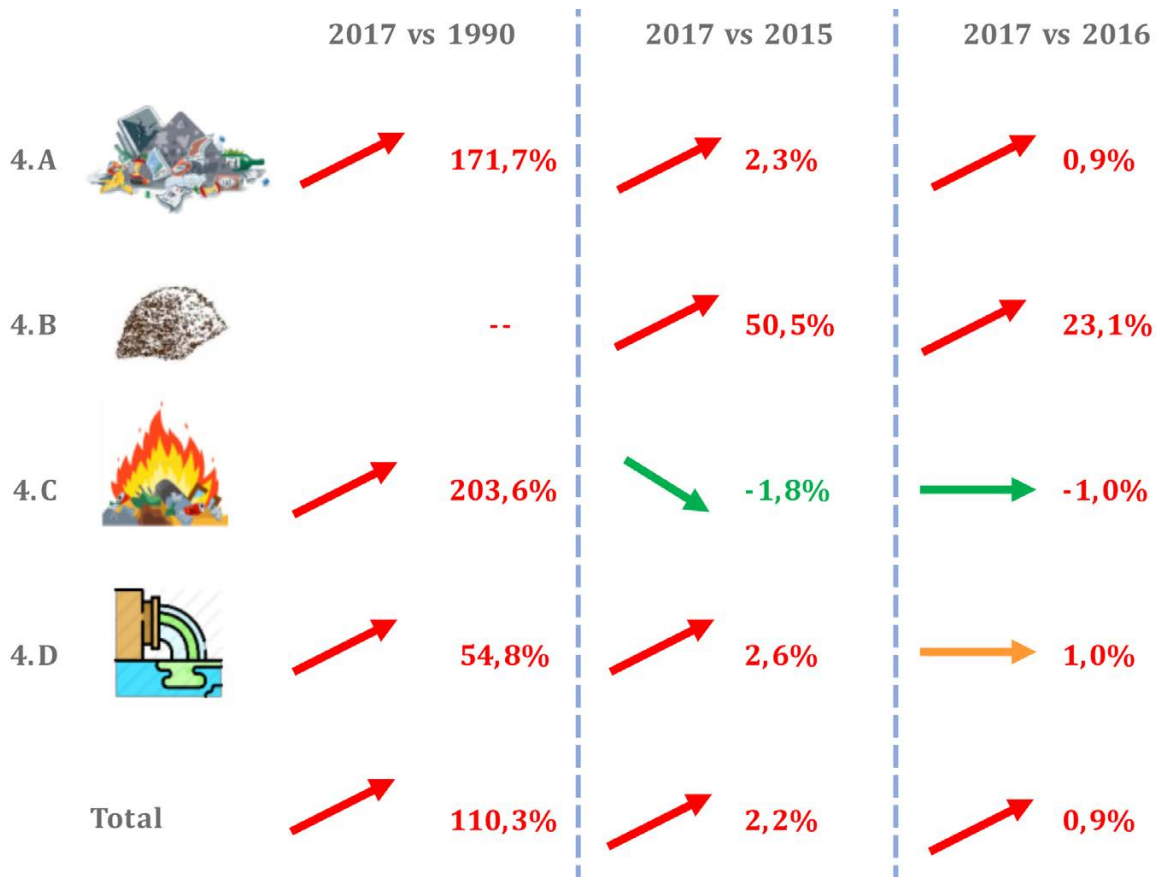


Figura 7.3 Tendencia de las emisiones del sector residuos.

7.2. Disposición de los residuos sólidos (4.A)

7.2.1. Descripción de la categoría

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, en esta categoría se contabilizan las emisiones de GEI generadas durante el tratamiento y eliminación de los desechos sólidos municipales e industriales en sitios de eliminación de desechos sólidos (SEDS). Las emisiones que se dan principalmente son de metano, y son de las que más contribuyen en el sector residuos en el mundo.

Los residuos sólidos contienen materia orgánica que en su totalidad o una fracción de esta es capaz de degradarse formando entre otros componentes, metano que es liberado a la atmósfera. Todas estas emisiones son cuantificadas en este apartado.

En el caso de Costa Rica las emisiones en 2017 en esta categoría fueron de 56,37 Gg de CH₄ de las cuales la mayoría provienen del tratamiento de residuos sólidos municipales. En 2017 se estima que se recuperaron 15 Gg de CH₄ en los sitios de disposición de residuos. Con respecto al año 2016, las emisiones crecieron un 0,9 %, aumentaron un 2,3 % con respecto al 2015 y desde 1990 han aumentado más de 171,7 %. Los datos de las emisiones para los años anteriores de inventario y para los últimos 8 años recálculados con la *Directrices del IPCC de 2006* se encuentran en el cuadro 7.4.

Cuadro 7.4 Emisiones debidas al tratamiento de residuos sólidos

Año	CH ₄ generado (Gg)		Recuperación de CH ₄ (Gg)	Emisiones netas de CH ₄
	Residuos sólidos municipales	Residuos industriales		
1990	16,63	4,48	0	21,12
1996	23,00	6,05	0,0	29,06
2000	30,25	7,95	4,0	34,20
2005	41,02	10,89	9,0	42,92
2010	50,75	13,72	14,0	50,46
2011	52,02	14,12	15,0	51,14
2012	53,16	14,47	15,0	52,63
2013	54,14	14,78	15,0	53,93
2014	55,00	15,05	15,0	55,05
2015	55,80	15,29	15,0	56,09
2016	56,37	15,47	15,0	56,85
2017	56,77	15,60	15,0	57,37

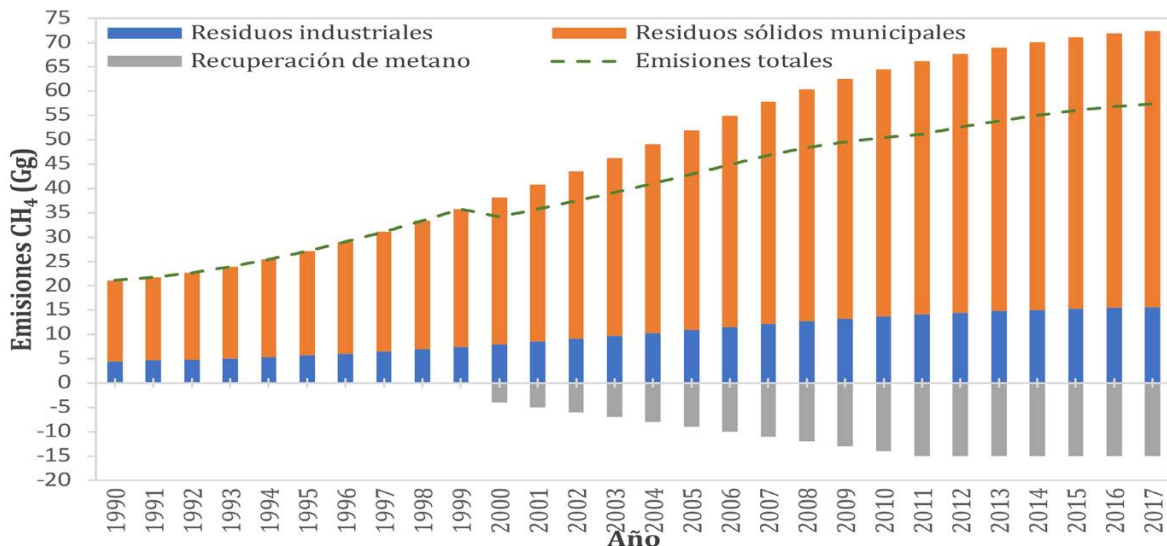


Figura 7.4 Emisiones de CH₄ en el tratamiento de residuos sólidos en la para el período 1990-2017.

Al ser la categoría que aporta más en las emisiones es la que marca también la tendencia de estas, tal como se observa en la Figura 7.4, el comportamiento es similar al total del sector, el salto en las emisiones en el año 2000 se debe a que es el primer año en el que se reportó recuperación de metano.

En el cuadro 7.5 se muestra la información básica para la estimación de esta categoría y que será ampliada a continuación.

Cuadro 7.5 Información introductoria para la categoría 4.A

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CH ₄	FOD-Nivel 2	EN	D

7.2.2. Metodología

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, la cinética de las reacciones que describen la descomposición del carbono orgánico en los residuos sólidos y la producción de metano son procesos que llevan varias décadas en completarse. No obstante, existe evidencia que esos procesos cinéticos se ajustan bien a una descomposición de primer orden, en donde importantes cantidades de CH₄ se liberan en los primeros años y van en disminuyendo con el tiempo. De acuerdo con el Laboratorio de Gestión de Desechos de la Universidad Nacional de Costa Rica (2019), para el caso de Costa Rica, los sitios de disposición final de residuos sólidos controlados son de creación reciente, por lo que la estimación se hace con información desde 1990 hasta el 2017.

El nivel de estimación metodológico en este caso dependerá únicamente de los parámetros y datos de actividad que se tengan disponibles en el país, ya que el modelo de estimación no cambia. En el caso de Costa Rica se utiliza un Nivel 2 debido a que algunos de los datos de actividad son nacionales y se combinan con información por defecto.

Como herramienta de estimación se utiliza el “*IPCC Spreadsheet for Estimating Methane Emissions from Solid Waste Disposal Sites (IPCC Waste Model)*” Anexo de las *Directrices del IPCC de 2006*. Para estimar las emisiones de metano se utilizó la ecuación 7.1.

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \left[\sum_x \text{CH}_4 \text{ generado}_{x,T} - R_T \right] * (1 - \text{OX}_T) \quad (7.1)$$

Donde:

Emisiones CH₄ = CH₄ emitido en el año T, Gg

T = Año del inventario

X= categoría o tipo de residuo

R_T = CH₄ recuperado durante el año T, Gg

OX_T = factor de oxidación durante el año T, fracción

La generación de metano se basa en la cantidad de carbono orgánico degradable disuelto (DDOC_m), que corresponde a la parte del carbono orgánico que se degrada en condiciones anaerobias y se estima con la ecuación 7.2.

$$\text{DDOC}_m = W * \text{DOC}_f * \text{MCF} \quad (7.2)$$

Donde:

DDOC_m = masa del carbono orgánico degradable, Gg

W = masa de los residuos depositados, Gg

DOC = carbono orgánico degradable durante el año de deposición, fracción, Gg de C/Gg de residuos

DOC_f = fracción del DDOC que puede descomponerse (fracción)

MCF = factor de corrección de CH₄ para la descomposición aeróbica durante el año de deposición

Para poder determinar las emisiones de cada año, se debe conocer la masa total de material en descomposición existente en el sitio en un momento dado, es decir es necesario conocer el acumulado que queda de los años anteriores y del año de inventario, para eso se utilizan las ecuaciones 7.3 y 7.4.

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} * e^{-k}) \tag{7.3}$$

$$DDOCm\ decomp_T = DDOCma_{T-1} + (1 - e^{-k}) \tag{7.4}$$

Donde:

T = año de inventario

DDOCma_T = DDOCm acumulado en los SEDS al final del año T, Gg

DDOCma_{T-1} = DDOCm acumulado en los SEDS al final del año T-1, Gg

DDOCmd_T = DDOCm depositado en los SEDS durante el año T, Gg

DDOCm descomp_T = DDOCm descompuesto en los SEDS durante el año T, Gg

k = constante de reacción, $k = \ln(2)/t_{1/2}$ (años⁻¹)

t_{1/2} = vida media (años)

Por último, con los datos generados de las ecuaciones anteriores, se puede estimar el CH₄ generado en el año de inventario con la ecuación 7.5.

$$CH_4\ generado_T = DDOCm\ decomp_T * F * 16/12 \tag{7.5}$$

Donde:

CH₄ generado_T = cantidad CH₄ generado a partir del material en descomposición

DDOCm descomp_T = DDOCm descompuesto en los SEDS durante el año T, Gg

F = fracción volumétrica de CH₄ en el gas de vertedero generado (fracción)

Factores y parámetros de emisión

Carbono orgánico degradable total (DOC):

El DOC se estima a partir de la fracción de carbono orgánico por tipo de residuo, así:

$$DOC = \sum_i(DOC_i * W_i) \tag{7.6}$$

Donde:

DOC = fracción de carbono orgánico degradable en los residuos brutos, fracción, Gg de C/Gg de residuos

DOC_i = fracción de carbono orgánico degradable en los residuos de tipo i, fracción

W = masa de los residuos depositados, Gg

Para la estimación en este inventario se utilizaron los valores de DOC por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* y que se muestran en el cuadro 7.6 y un valor, también por defecto, de DOC_r de 0,5.

Constante de reacción (k):

Se utilizaron los valores por defecto (para clima tropical) de la constante k de las *Directrices del IPCC de 2006*. Estos se encuentran tabulados por tipo de residuo en el cuadro 7.7.

Factor de corrección de metano (MCF):

El MCF depende de la disposición final que se les dé a los residuos. En el caso de Costa Rica para las estimaciones de residuos sólidos municipales se utilizaron únicamente los valores por defecto de sitio manejado y sitio no manejado de las *Directrices del IPCC de 2006*. Para los residuos industriales al no contar con información se utilizó el valor por defecto para no categorizados.

Fracción de metano en el gas de vertedero generado (F):

Se utiliza un valor por defecto de 0,5.

Factor de oxidación (OX):

Se utiliza el valor por defecto de 0 para sitios gestionados y sitios no gestionados.

Recuperación de metano (R):

Sobre la recuperación de metano, para el período 1990-2000, se asumió que no existía ya que no ha sido posible obtener datos. Para el período 2001-2012, los datos de recuperación fue posible obtenerlos para una única empresa, por lo tanto, se toman como totales. Para el período 2013-2017, se supone que se recupera el mismo metano que en 2011 y 2012.

Datos de actividad

En Costa Rica no se cuenta con información anual detallada de la cantidad de residuos sólidos generados, es por eso, que se utilizaron los valores de generación total per cápita de 1991, 2006,

Cuadro 7.6 Valores de DOC utilizados en la estimación de las emisiones

Tipo de residuo	(DOC) (fracción masa, base húmeda)
Desechos de comida (orgánicos)	0,15
Residuos de jardinería	0,20
Papel	0,40
Residuos de madera	0,43
Textiles	0,24
Desechos sanitarios	0,24
Residuos industriales	0,15

Cuadro 7.7 Valores para la constante de reacción, k

Tipo de residuos	Constante de reacción (k) (años ⁻¹)
Desechos de comida (orgánicos)	0,40
Residuos de jardinería	0,17
Papel	0,07
Residuos de madera	0,035
Textiles	0,07
Desechos sanitarios	0,17
Residuos industriales	0,17

Cuadro 7.8 Factores de corrección de metano

Tipo de sitio de disposición final de residuos sólidos	Factor de corrección de metano (MCF)
Sitio no gestionado	0,4
Gestionado	1
No categorizado	0,6

2011, 2014 del Ministerio de Salud (2016) y 2018 de GIZ (2019). Con esos valores se realizó una interpolación lineal para obtener los años faltantes. Los datos de generación de residuos sólidos ordinarios per cápita se muestran en el cuadro 8; además de la población reportada por el INEC en sus estadísticas. Para el período 1950-1989, se consideró que la generación per cápita de residuos fue constante e igual al estimado para 1990.

Es importante indicar que la generación per cápita, de manera general, creció en el período 1990-2010 mientras que se observa una disminución más fuerte en el período 2010-2017. Esto debido a la entrada de la Ley para la Gestión Integral de Residuos en el 2010.

Cuadro 7.9 Datos de población y generación per cápita de residuos

Año	Población	Generación de residuos sólidos	Residuos sólidos totales anuales	Residuos sólidos industriales
		kg/(persona*día)	(toneladas)	(toneladas)
1990	3057164	0,420	468258,3	126663,9
1991	3127760	0,448	511540,7	138371,8
1992	3203806	0,477	557236,8	150732,6
1993	3293446	0,505	607017,3	164198,2
1994	3389481	0,533	659903,9	178504,0
1995	3484445	0,562	714564,8	193289,8
1996	3577064	0,590	770692,1	208472,2
1997	3667632	0,619	828279,2	224049,5
1998	3757082	0,647	887482,6	240064,0
1999	3844891	0,676	948138,5	256471,5
2000	3929241	0,704	1009728,5	273131,6
2001	4005538	0,732	1070916,9	289683,0
2002	4071879	0,761	1130924,1	305915,0
2003	4136250	0,789	1191741,1	322366,0
2004	4200278	0,818	1253792,2	339150,8
2005	4263479	0,846	1316917,2	356226,1
2006	4326071	0,875	1381160,0	373603,8
2007	4389139	0,871	1395590,6	377507,3
2008	4451205	0,868	1409539,9	381280,5
2009	4509290	0,864	1422072,4	384670,6
2010	4563539	0,860	1433249,2	387693,9
2011	4615518	0,857	1443575,0	390487,0
2012	4666289	0,851	1448743,9	391885,2
2013	4713164	0,844	1452479,1	392895,6
2014	4773119	0,838	1460000,0	394930,0
2015	4832227	0,821	1448277,9	391759,2
2016	4890372	0,804	1435544,0	388314,7
2017	4947481	0,787	1421795,2	384595,6

Con la generación per cápita se estimó la cantidad total de residuos sólidos ordinarios generados, también mostrada en el cuadro 8.

En el caso de los residuos industriales, en el inventario de 2012 se estimaron como la diferencia entre los residuos totales que ingresaron a los rellenos sanitarios (se tienen los datos para ese año) y los datos estimados con la generación per cápita. Para este inventario, se estimó que esa diferencia corresponde a un 27,05% sobre los residuos estimados con la cantidad de generación per cápita y se aplicó esa proporción a toda la serie obteniendo los datos de la última columna del cuadro 7.9.

El INEC determinó en el censo nacional del 2011 la distribución de los residuos de acuerdo con su disposición final, esto se muestra en el cuadro 7.10. Esa distribución se aplica a los datos totales del cuadro 7.8, obteniendo la cantidad de residuos que van a un SEDS, cuya información es la utilizada como dato de actividad en la estimación de las emisiones. Según el Estado de la Nación, se estima que el 58,6% de los residuos sólidos recolectados se envía a relleno sanitario, 19,8% se envían a vertederos controlados y 21,6% a botadores a cielo abierto (no gestionados).

Cuadro 7.10 Disposición final de los residuos sólidos

Residuos gestionados por el recolector municipal	Residuos enterrados	Residuos quemados	Residuos dispuestos de otras formas (al río, quebrada, mar, lote baldío, otros)
83,36 %	5,07 %	10,26 %	1,31 %

Por último, los residuos sólidos se desagregan por tipo. Esta desagregación se obtuvo de datos de 14 municipalidades durante los ciclos de inventario de 2010 y 2012 realizados por el Laboratorio de Gestión de Desechos de la Universidad Nacional. Los datos obtenidos se resumen en el cuadro 7.11.

Cuadro 7.11 Datos sobre segregación de los residuos sólidos municipales

Componente	Porcentaje (%)
Papel/cartón	14
Textil	3
Desechos Alimentos	40
Madera	2
Jardín	4
*Desechos sanitarios	8
Plástico	29

*Los desechos sanitarios son los desechos sólidos generados en los servicios sanitarios, diferentes a las excretas. Abarca: papel higiénico, toallas sanitarias, tampones, condones, hilo dental, pañales, etc.

7.2.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Se utilizó la población como dato de actividad, la fuente de información fue el INEC por lo que los datos son coherentes en el tiempo.

Incertidumbre

Para estimar la incertidumbre por propagación de error se asumió el método 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* y los valores por defecto de estas para los diferentes parámetros involucrados y mostrados en el cuadro 7.12.

Cuadro 7.12 Incertidumbres por propagación de error para las emisiones

Parámetro	Incertidumbre (±%)		
	Gestionado	No gestionado	No categorizado
DOCf	20	20	20
DOC	20	20	20
MCF	-10	-30	-50
	0	30	60
Vida media	30	30	30
Fracción de metano en el gas de vertedero	5	5	5
MSW	30	30	30
Fracción de MSW enviado a los SEDS	30	30	30
Composición de los desechos	30	30	30
Recuperación de metano	50	-	-
Incertidumbre combinada	83,8	73,0	83,2

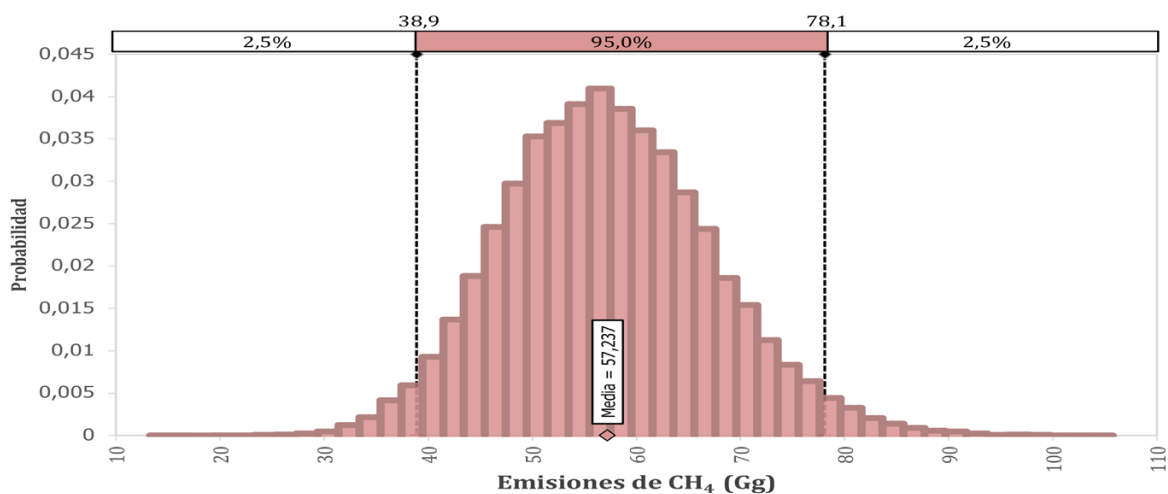


Figura 7.5 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 4.A.

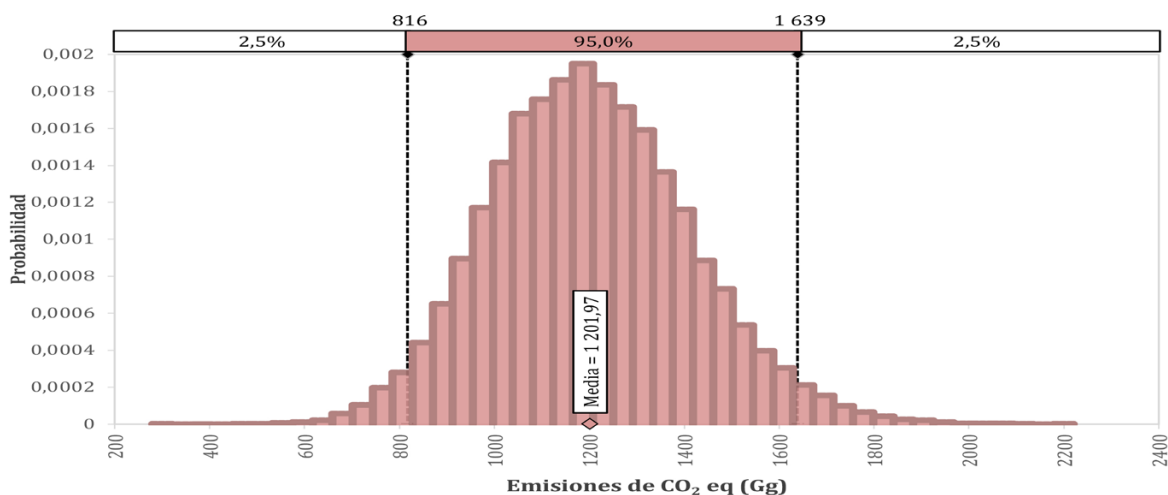


Figura 7.6 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 4.A expresadas como CO₂ eq.

Como un segundo método, se estimó la incertidumbre de la categoría usando el método de Monte Carlo y se obtuvo un valor de emisiones (media) de 57,24 Gg de CH₄, los cuales al 95% de confianza se puede asegurar que se encuentran entre 38,9 Gg de CH₄ y 78,1 Gg de CH₄, tal como se muestra en la Figura 7.5. Las mismas emisiones, pero expresadas como CO₂ equivalente, se muestran en la Figura 7.6. Los valores de incertidumbres usados son los mismos mostrados en el cuadro 7.12 en donde a las incertidumbres simétricas se les asignó distribuciones normales y a las asimétricas distribuciones lognormales.

7.2.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Esta categoría se somete a los controles indicados en las hojas de verificación que se muestra en el Anexo K, por ejemplo, se revisan los datos de actividad, los factores de emisión.

7.2.5. Recálculos

Se recalcularon las emisiones para todos los años de inventario anteriores. En el caso de 1990, 1996, 2000 y 2005 hubo un cambio tanto en la metodología como en el dato de actividad, mientras que para 2010, 2012 y 2015 únicamente cambió el dato de actividad. Las diferencias entre las estimaciones se muestran en la Figura 7.7, en donde se observa que para los dos inventarios anteriores los cambios fueron menores que para los otros años.

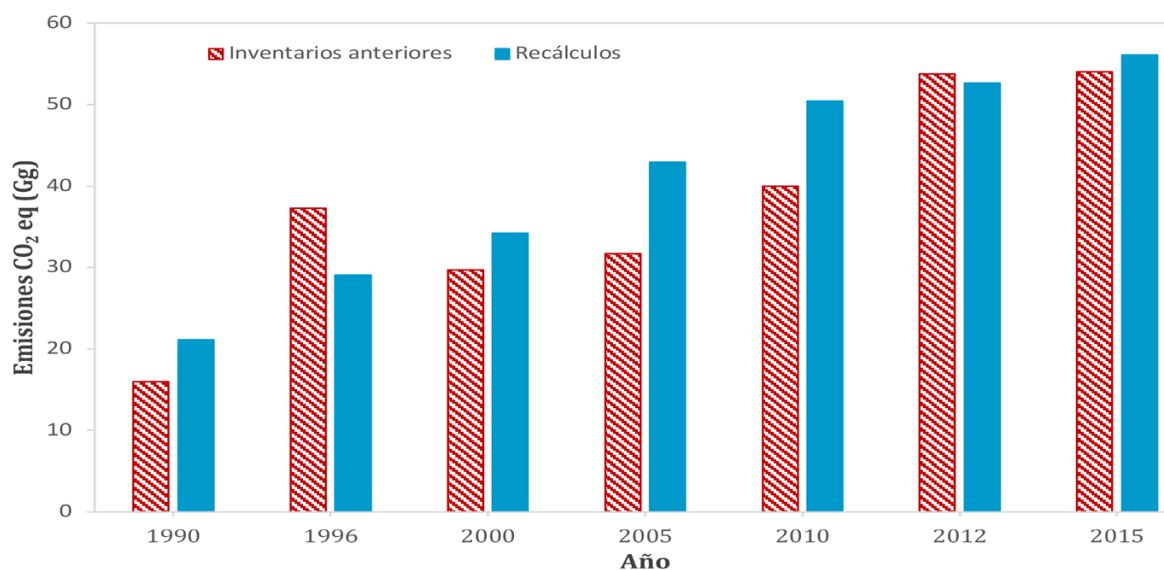


Figura 7.7 Recálculos para la categoría 4.A.

7.2.6. Plan de mejora

Se espera en un futuro consultar nuevamente a las operadoras de sitios de eliminación de residuos sólidos sobre cantidades y tipos de residuos que manejan.

7.3. Tratamiento biológico de los residuos sólidos (4.B)

7.3.1. Descripción de la categoría

En Costa Rica algunas de las municipalidades aprovechan los residuos orgánicos recolectados para fabricar abono. Durante la fabricación de ese abono orgánico (compost) se generan emisiones de CH₄ y de N₂O, las cuales deben ser contabilizadas y reportadas en esta categoría.

Aunque la mayor parte del proceso de fabricación de abono orgánico es aerobia, se da una producción de metano en las zonas anaerobias del proceso. Igualmente, una cierta cantidad del nitrógeno contenido en la materia se oxida formando N₂O que también se debe contabilizar en este apartado.

Se tiene registro de este tipo de actividad desde el 2006, siendo las emisiones de ese año de 0,068 Gg de CO₂ eq tomando en cuenta tanto CH₄ como N₂O. Para el 2017, las emisiones totales de esta categoría fueron 0,6778 Gg CO₂ eq, creciendo 897 % desde 2006. Con respecto al último inventario (2015), las emisiones crecieron 50,4 % y con respecto al 2016 crecieron un 23,1 %. La variabilidad en las emisiones se debe exclusivamente al cambio en la cantidad de residuos procesados de manera anual. Por ejemplo, el aumento importante en 2012 se debe al inicio del compostaje de la Municipalidad de Alvarado, en 2014 el inicio de la de Perez Zeledón y en 2015 da inicio la de San Rafael de Heredia.

Cuadro 7.13 Emisiones debidas al compostaje (4.B)

Año	Emisiones CH ₄		Emisiones N ₂ O		Total emisiones CO ₂ eq (Gg)
	Ton	Gg CO ₂ eq	Ton	Gg CO ₂ eq	
2006	1,54	0,0323	0,12	0,0357	0,0680
2007	1,54	0,0323	0,12	0,0357	0,0680
2008	1,54	0,0323	0,12	0,0357	0,0680
2009	1,54	0,0323	0,12	0,0357	0,0680
2010	1,54	0,0323	0,12	0,0357	0,0680
2011	1,54	0,0323	0,12	0,0357	0,0680
2012	2,06	0,0432	0,15	0,0478	0,0910
2013	2,06	0,0432	0,15	0,0478	0,0910
2014	5,90	0,1239	0,44	0,1372	0,2611
2015	10,18	0,2137	0,76	0,2366	0,4503
2016	12,44	0,2612	0,93	0,2892	0,5504
2017	15,32	0,3217	1,15	0,3561	0,6778

El cuadro 7.14 indica como se estimaron las emisiones de esta categoría para cada gas.

Cuadro 7.14 Información introductoria para la categoría 4.B

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

7.3.2. Metodología

Se estimaron las emisiones de CH₄ y de N₂O siguiendo un Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* para esta categoría. El cálculo se hace mediante las ecuaciones 7.7 y 7.8.

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \sum_i (M_i * EF_i) * 10^{-3} - R \quad (7.7)$$

Donde:

M_i = masa de los residuos sometidos al tratamiento biológico i, Gg

EF_i = factor de emisión del tratamiento i, g CH₄/kg de desechos tratados

i = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica

R = cantidad total de metano recuperado durante el año de inventario, Gg

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum_i (M_i * EF_i) * 10^{-3} \quad (7.8)$$

Donde:

M_i = masa de los residuos sometidos al tratamiento biológico i, Gg

EF_i = factor de emisión del tratamiento i, g N₂O/kg de desechos tratados

i = preparación de abono orgánico o digestión anaeróbica

Factor de emisión

En el país el único tratamiento biológico que se le da a los residuos sólidos orgánicos es el de compostaje y las emisiones generadas se estiman utilizando los factores de emisión por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* y que están tabulados en el cuadro 7.15.

Cuadro 7.15 Factores de emisión para la fabricación de compost

Factor de emisión de CH ₄ (g CH ₄ /kg de residuos tratados húmedos)	Factor de emisión de N ₂ O (g N ₂ O /kg de residuos tratados húmedos)
4	0,3

Dato de actividad

Los datos de actividad corresponden a la cantidad de residuos orgánicos utilizados para compostaje en cuatro municipalidades, los cuales son proyectos conocidos y los datos se muestran en el cuadro 7.16. En el caso de las Municipalidades de Pérez Zeledón y San Rafael de Heredia, los datos se obtuvieron directamente, mientras que, para Alvarado y Jiménez, se obtuvieron del *Primer informe Situación de la Gestión de los Residuos Sólidos para la determinación de la NAMA residuos Costa Rica* (2019).

7.3.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Coherencia temporal

Se utilizó el mismo método y factores de emisión para toda la serie histórica ya que no se identificó ningún cambio importante que afectara estos valores.

Cuadro 7.16 Datos de materia orgánica procesada para fabricación de compost

Año	Residuos orgánicos procesados por Municipalidad (ton)			
	Jimenez	Alvarado	Pérez Zeledón	San Rafael Heredia
2006	384	NO	NO	NO
2007	384	NO	NO	NO
2008	384	NO	NO	NO
2009	384	NO	NO	NO
2010	384	NO	NO	NO
2011	384	NO	NO	NO
2012	384	130	NO	NO
2013	384	130	NO	NO
2014	384	130	960,9	NO
2015	384	130	2024,4	5,6
2016	384	130	2570,44	25,4
2017	384	130	3286,9	28,7

Incertidumbre

En el cuadro 7.17 se presentan los valores de incertidumbre del dato de actividad y de los factores de emisión usados en esta categoría. Todos los valores son por defecto y en el caso del dato de actividad, se le asigna un $\pm 10\%$ debido a que se obtienen datos directos de los productores del compost.

Cuadro 7.17 Incertidumbre de los parámetros de la categoría 4.B

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre ($\pm\%$)	Justificación incertidumbre
Factor de emisión CH ₄	100	Por defecto
Factor de emisión N ₂ O	100	Por defecto
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre ($\pm\%$)	Justificación incertidumbre
Cantidad de residuos procesados	10	Por defecto

Se estimaron las incertidumbres mediante simulaciones de Monte Carlo para el CH₄, N₂O y el total como CO₂ equivalente, los resultados se muestran en las figuras 7.8, 7.9 y 7.10. Los datos usados para las simulaciones son los del cuadro 7.17 con todas las distribuciones de probabilidad normales. Como CO₂ equivalente se obtuvo una media de 0,678 Gg con un valor de 2,5 % de probabilidad de 0,196 Gg y uno para el 97,5% de 1,166 Gg.

7.3.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Esta categoría se somete a los controles indicados en las hojas de verificación que se muestra en el Anexo K, por ejemplo, se revisan los datos de actividad, los factores de emisión.

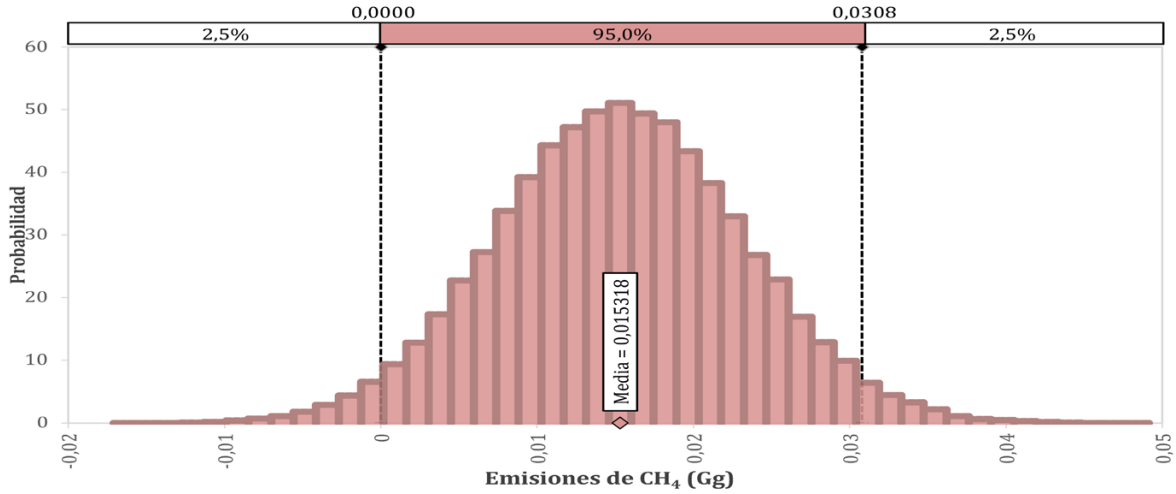


Figura 7.8 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 4.B.

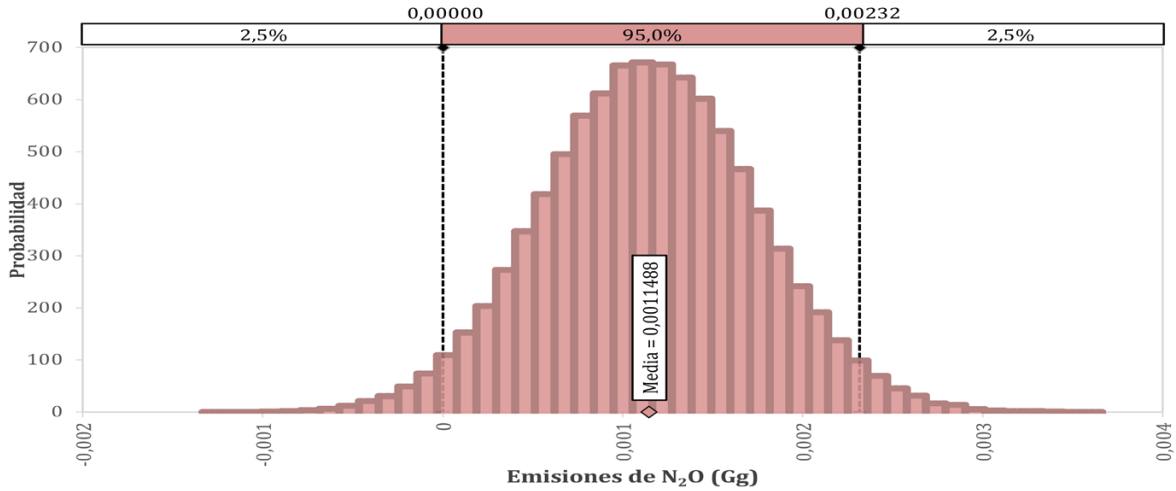


Figura 7.9 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de N₂O de la categoría 4.B.

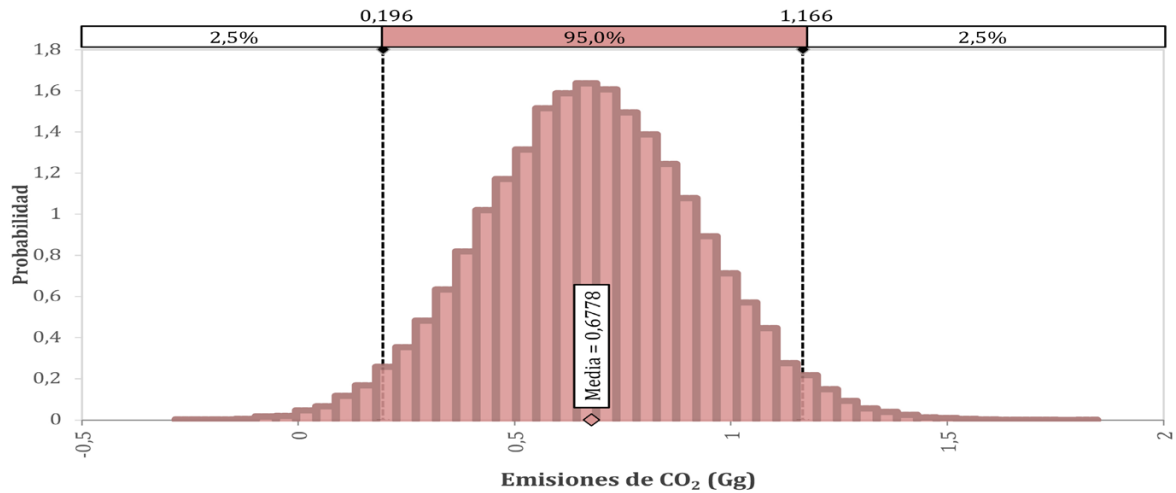


Figura 7.10 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 4.B expresadas como CO₂eq.

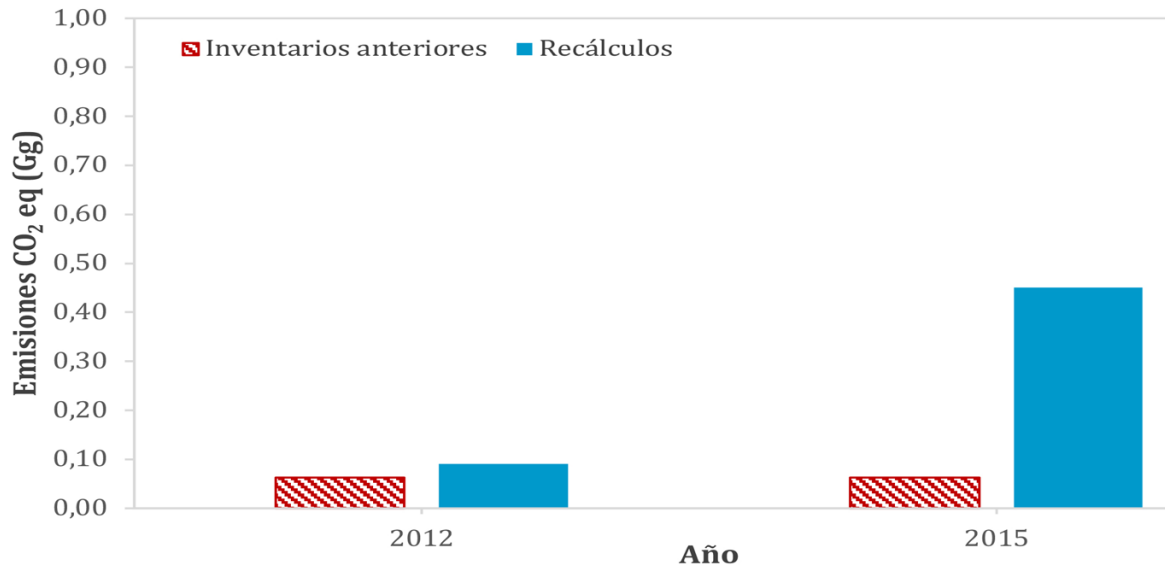


Figura 7.11 Recálculos para el tratamiento biológico de los residuos sólidos (4.B).

7.3.5. Recálculos

Para el inventario 2012 y 2015, se utilizaba un método basado en una generación de gas per cápita por compostaje que no se encuentra en las *Directrices del IPCC de 2006*. Para este inventario se realizó un recálculo utilizando el método descrito anteriormente para toda la serie desde 2006 hasta 2015; aunque, anteriormente, **sólo se reportaron 2012 y 2015. Como se muestra en la Figura 7.11** las emisiones recalculadas para el 2012 fueron 45,2 % mayores a las reportadas anteriormente y para el 2015 los recálculos fueron más de 6 veces mayores a las reportadas.

7.3.6. Plan de mejora

Para futuros inventarios se espera recopilar más información de la posible existencia de otros proyectos de compostaje que puedan ser incluidos en las estimaciones.

7.4. Incineración e incineración abierta de residuos (4.C)

7.4.1. Descripción de la categoría

En esta categoría se contabilizan las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O generadas por incineración abierta de residuos en Costa Rica. En el caso de incineración controlada que no sea para aprovechamiento energético, no hay evidencia de que existan operaciones en el país.

Como en todo proceso de combustión, el carbono contenido en los residuos reacciona con el oxígeno formando diferentes gases, incluidos los de efecto invernadero ya mencionados.

Las emisiones presentadas para los años de inventario anteriores y para los últimos 8 años se muestran en el cuadro 7.18 y para la serie completa en la Figura 7.12. En 2017 las emisiones fueron de 93,52 Gg CO₂ eq, las emisiones decrecieron un 1 % con respecto al año anterior y un 1,8 % desde

2015, con respecto a 1990. Las emisiones han aumentado en 203,6%. En cuanto al comportamiento de las emisiones, como se explicará más adelante, algunos datos fueron interpolados por lo que el comportamiento es uniforme sin cambios marcados. Aunque, como ya se comentó anteriormente, hay una disminución en la generación de residuos principalmente en los últimos años a raíz de la entrada en vigor e implementación de la Ley de Gestión Integral de Residuos.

Cuadro 7.18 Emisiones para la categoría 4.C Incineración abierta de residuos

Año	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Emisiones CO ₂ (Gg)	22,76	37,45	49,07	64,00	69,65	70,15	70,40	70,59	70,95	70,38	69,76	69,09
Emisiones CH ₄ (Gg)	0,31	0,51	0,67	0,88	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,96	0,95
Emisiones N ₂ O (Gg)	0,005	0,008	0,010	0,013	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Emisiones CO ₂ eq (Gg)	30,80	50,69	66,41	86,62	94,27	94,95	95,29	95,54	96,03	95,26	94,42	93,52

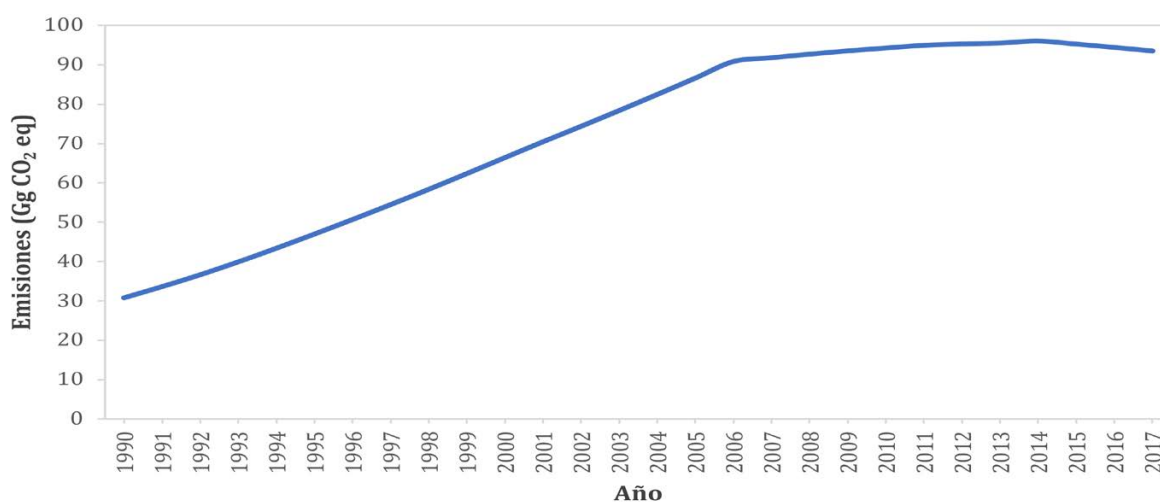


Figura 7.12 Tendencia de las emisiones de la categoría 4.C.

Los datos de emisiones por tipo de residuo incinerado se encuentran tabulados para toda la serie, por tipo de gas en el Anexo B, Cuadro B.3.4.

En el cuadro 7.19 se muestran las generalidades metodológicas para las estimaciones de emisiones de la incineración abierta de residuos.

Cuadro 7.19 Información introductoria para la categoría 4.C

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CO ₂	Nivel 1	EN	D
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

7.4.2. Metodología

Se estimaron las emisiones de CO₂ siguiendo un Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006* y las siguientes ecuaciones:

$$\text{Emisiones de CO}_2 = \sum_i (\text{SW}_i * \text{dm}_i * \text{CF}_i * \text{FCF}_i * \text{OF}_i) * 44/12 \tag{7.9}$$

Donde:

SW_i = cantidad total de desechos sólidos de tipo i (peso húmedo) quemados, Gg/año

dm_i = contenido de materia seca en los desechos (peso húmedo) quemados, fracción

CF_i = fracción de carbono en la materia seca, fracción

FCF_i = fracción de carbono fósil en el carbono total, fracción

OF_i = factor de oxidación, fracción

i = tipo de desecho incinerado

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \sum_i (\text{IW}_i * \text{EF}_i) * 10^{-6} \tag{7.10}$$

Donde:

IW_i = cantidad total de desechos sólidos de tipo i (peso húmedo) quemados, Gg/año

EF_i = factor de emisión de CH₄, kg de CH₄/Gg de desechos

i = tipo de desecho incinerado

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = \sum_i (\text{IW}_i * \text{EF}_i) * 10^{-6} \tag{7.11}$$

Donde:

IW_i = cantidad total de desechos sólidos de tipo i (peso húmedo) quemados, Gg/año

EF_i = factor de emisión de N₂O, kg de N₂O /Gg de desechos

i = tipo de desecho incinerado

Factor de emisión y parámetros

En el cuadro 7.20 se muestran los parámetros utilizados en la estimación de las emisiones de CO₂. Para el caso de desechos alimentos, madera y jardín se considera que todo el carbono es carbono orgánico.

Cuadro 7.20 Parámetros utilizados para la estimación de emisiones de CO₂ de la quema abierta de residuos

Tipo de residuo	Contenido de materia seca (fracción)	Fracción de carbono en la materia seca	Fracción de carbono fósil en el carbono total	Factor de oxidación
Papel/cartón	0,90	0,46	0,01	0,58
Textil	0,80	0,50	0,20	0,58
Desechos Alimentos	0,40	0,38	0	0,58
Madera	0,85	0,50	0	0,58
Jardín	0,40	0,49	0	0,58
Pañales	0,40	0,70	0,10	0,58
Plástico	1	0,75	1	0,58

Los factores de emisión utilizados para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O se muestran en el cuadro 7.21. Se debe considerar que para el CH₄ se utiliza un factor en base húmeda, mientras que para el N₂O es base seca.

Cuadro 7.21 Factores de emisión de metano y óxido nitroso por quema abierta de residuos

Factor de emisión de CH ₄ (g CH ₄ /ton de residuos húmedos)	Factor de emisión de N ₂ O (g N ₂ O/ton de residuos secos)
6500	150

Dato de actividad

Los datos de actividad se estimaron a partir de la masa total de residuos sólidos generados que se muestran en el cuadro 7.8. De estos, el 10,26 % son quemados de acuerdo con el INEC (2011), mientras que la distribución por tipo de residuo se hizo de acuerdo con el cuadro 7.10, así, se obtienen los datos de actividad mostrados en el cuadro 7.22.

Cuadro 7.22 Datos de actividad para la categoría 4.C

Componente	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Papel/cartón (Gg)	6,73	11,07	14,50	18,92	20,59	20,74	20,81	20,86	20,97	20,80	20,62	20,42
Textil (Gg)	1,44	2,37	3,11	4,05	4,41	4,44	4,46	4,47	4,49	4,46	4,42	4,38
Desechos Alimentos (Gg)	19,22	31,63	41,44	54,05	58,82	59,24	59,46	59,61	59,92	59,44	58,91	58,35
Madera (Gg)	0,96	1,58	2,07	2,70	2,94	2,96	2,97	2,98	3,00	2,97	2,95	2,92
Jardín (Gg)	1,92	3,16	4,14	5,40	5,88	5,92	5,95	5,96	5,99	5,94	5,89	5,84
Desechos sanitarios (Gg)	3,84	6,33	8,29	10,81	11,76	11,85	11,89	11,92	11,98	11,89	11,78	11,67
Plástico (Gg)	13,93	22,93	30,04	39,18	42,64	42,95	43,11	43,22	43,44	43,09	42,71	42,30

7.4.3. Incertidumbre y coherencia temporal**Coherencia temporal**

Se utilizó el mismo método y factores de emisión para toda la serie histórica ya que no se identificó ningún cambio tecnológico importante que afectara estos valores. Además, los cambios en la legislación que han tenido impacto en los datos de actividad corresponden, principalmente, a la entrada en vigor de la Ley de Gestión Integral de Residuos la cual se evidencia claramente en las emisiones.

Incertidumbre

Aunque es claro que el factor de emisión depende de factores como la cantidad de materia seca, el factor de oxidación o la cantidad de carbono fósil en la materia, las *Directrices del IPCC de 2006* dan algunos valores generales cuando esos factores utilizados son por defecto, tal como se hace en el país. Dichos valores se encuentran tabulados en el cuadro 7.23 y también se utilizaron en los resultados de las simulaciones de Monte Carlo mostradas de la Figura 7.13 a la 7.16.

Las emisiones agregadas para la categoría expresadas como CO₂ equivalente obtenidas en la simulación fueron 93,87 Gg de CO₂ eq con una incertidumbre que va desde 52,4 Gg de CO₂ eq (2,5 %) a 142,2 Gg de CO₂ eq (97,5%).

Cuadro 7.23 Incertidumbres para las estimaciones de GEI de la quema abierta de residuos (4.C)

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Factor de Emisión CO ₂	40	Por defecto para la combinación de los parámetros involucrados
Factor de emisión CH ₄ y N ₂ O	100	Por defecto
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Cantidad de residuos incinerados	30	Por defecto
Incertidumbre de las emisiones de CO₂	50,0	
Incertidumbre de las emisiones de CH₄ y N₂O	104,40	

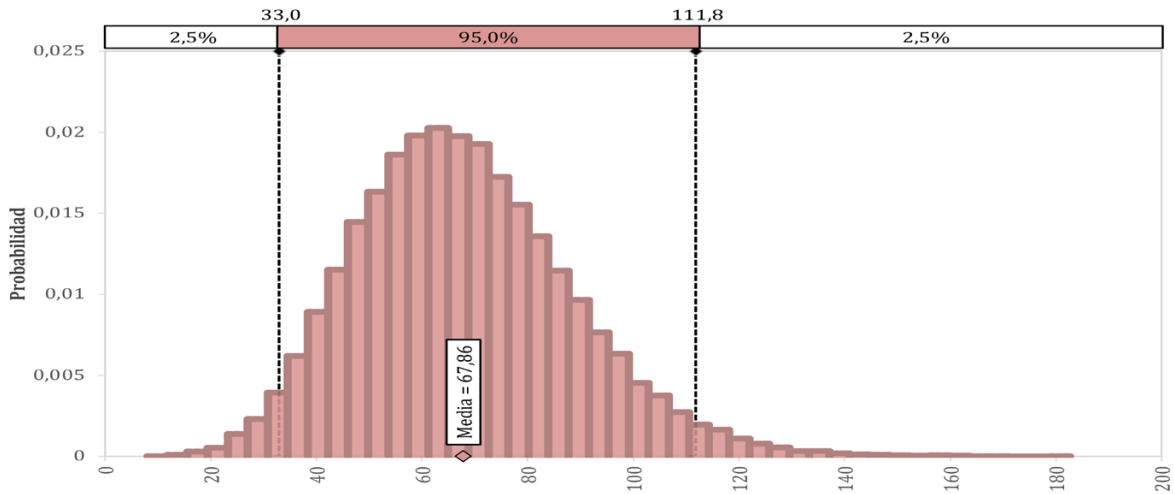


Figura 7.13 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CO₂ de la categoría 4.C.

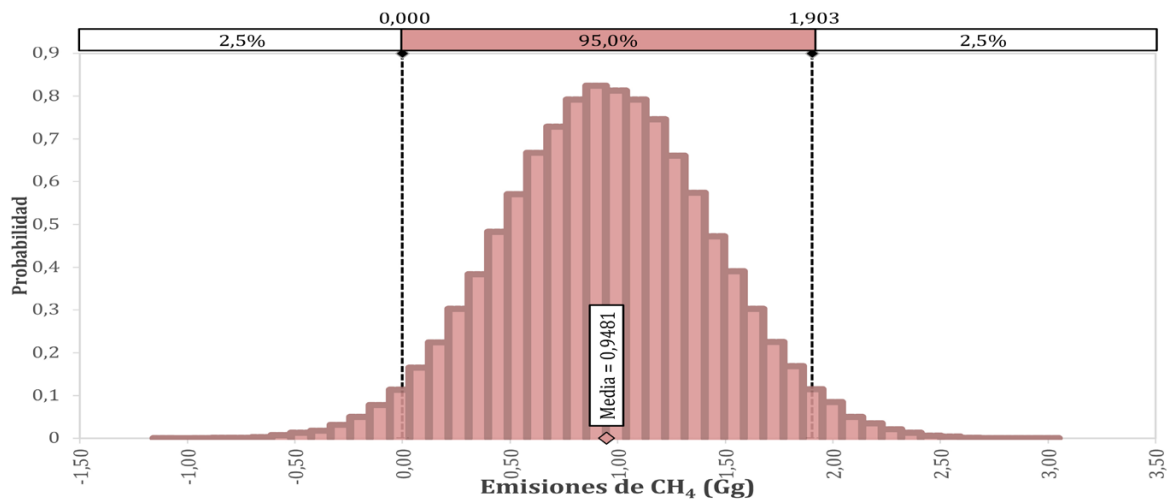


Figura 7.14 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 4.C.

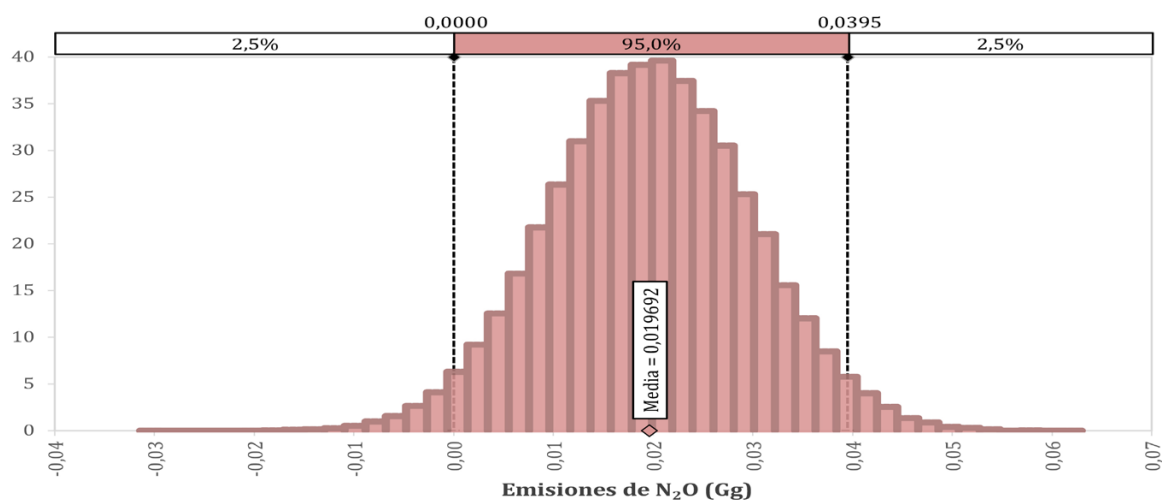


Figura 7.15 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de N₂O de la categoría 4.C.

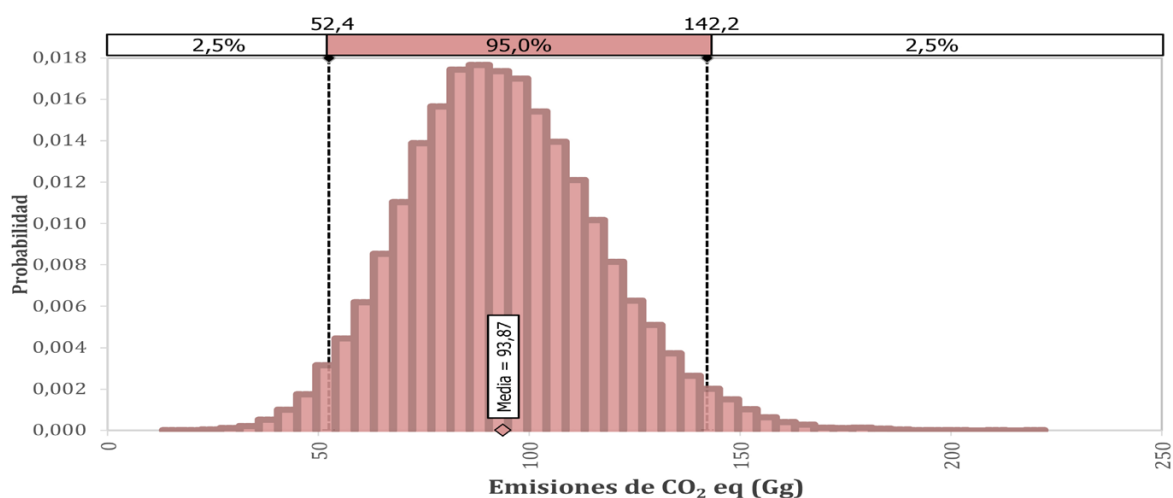


Figura 7.16 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 4.C expresadas como CO₂ eq.

7.4.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Al igual que las otras categorías, los datos de actividad, factores de emisión y otros parámetros asociados se revisan con listas de chequeo para cada ciclo de inventario.

7.4.5. Recálculos

Las emisiones de GEI generadas por la quema abierta de residuos se estimaron por primera vez en el inventario del año 2010, por lo que, tal como se muestra en el cuadro 7.24, para los inventarios anteriores esta categoría no se estimó. Para el año 2010, 2012 y 2015, las diferencias se deben a dos razones. La primera es que, tal como se indica en la sección 2.2 los datos de actividad sufrieron un ajuste debido a la estimación de la generación anual per-cápita para los años recientes. La segunda razón es que se corrigió un error en la estimación, anteriormente, se estaba utilizando un valor para la fracción de carbono fósil del papel y cartón de 1, pero el valor por defecto correcto es de 0,01.

Cuadro 7.24 Recálculos para la categoría 4.C incineración y quema abierta de residuos

Año	Inventarios anteriores				Recálculos			
	Emisiones CO ₂ (Gg)	Emisiones CH ₄ (Gg)	Emisiones N ₂ O (Gg)	Emisiones CO ₂ eq (Gg)	Emisiones CO ₂ (Gg)	Emisiones CH ₄ (Gg)	Emisiones N ₂ O (Gg)	Emisiones CO ₂ eq (Gg)
1990	NE	NE	NE	NE	22,76	0,31	0,00	30,80
1996	NE	NE	NE	NE	37,45	0,51	0,01	50,69
2000	NE	NE	NE	NE	49,07	0,6734	0,0103	66,41
2005	NE	NE	NE	NE	64,00	0,8783	0,0135	86,62
2010	80,22	1,09	0,013	107,14	69,65	0,9558	0,0147	94,27
2012	91,06	1,23	0,015	121,54	70,40	0,9662	0,0148	95,29
2015	111,61	0,976	0,01498	136,75	70,38	0,9659	0,0148	95,26

Como se observa en la Figura 7.17, la corrección en la fracción de carbono fósil hizo que el recálculo para el 2010, 2012 y 2015 fuera menor que las emisiones anteriores. Expresada como CO₂ equivalente, en 2010 la diferencia fue de 12 % menos, en 2012 de 21,6 % menos y en 2015 las emisiones recalculadas fueron 30,3 % menores que las presentadas originalmente para ese año.

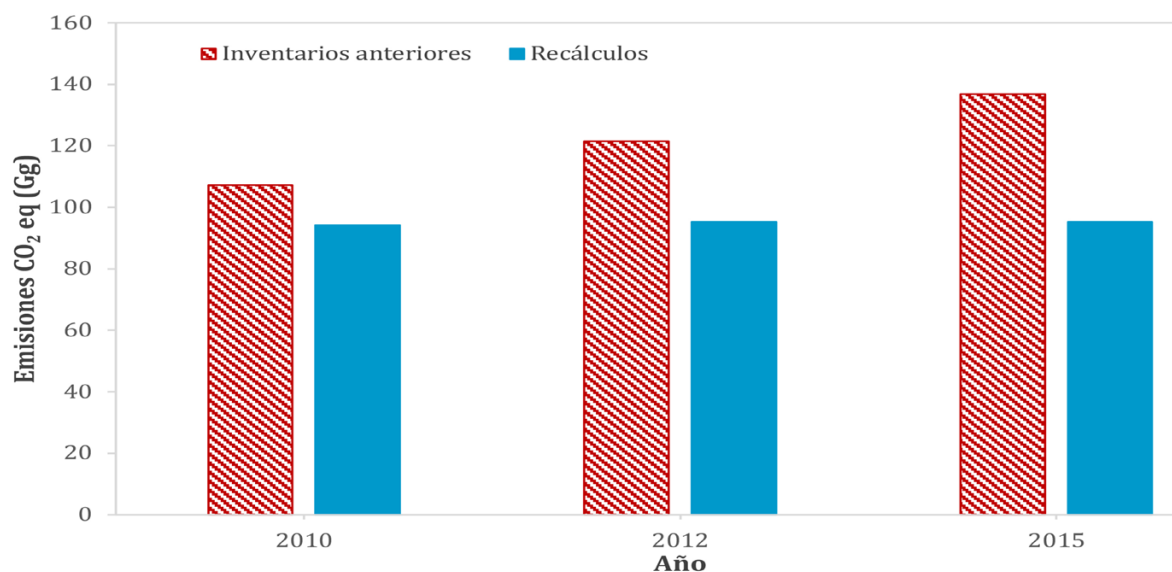


Figura 7.17 Recálculos para la quema abierta de residuos (4.C)

7.4.6. Plan de mejora

No se tiene plan de mejora a corto plazo.

7.5. Tratamiento y eliminación de aguas residuales (4.D)

7.5.1. Descripción de la categoría

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, en esta categoría se contabilizan las emisiones de metano y óxido nitroso generadas durante el tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas, comerciales e industriales. Esas aguas residuales pueden ser tratadas in situ, recolectarse y trasladarse a una planta centralizada o eliminarse sin tratamiento.

El material orgánico contenido en las aguas residuales tanto domésticas como industriales, puede descomponerse en metano, e incluso parte del nitrógeno se oxida y forma óxido nitroso.

Como se observa en el cuadro 7.25, en el 2017 las emisiones alcanzaron 839,5 Gg de CO₂ eq. A diferencia de los residuos sólidos, las emisiones por el tratamiento de residuos líquidos y, en especial, en el caso de aguas residuales domésticas están ligadas a la población, por lo que en el caso de Costa Rica las emisiones han ido creciendo todos los años presentados. Las emisiones crecieron cerca de 1 % del 2016 al 2017, comparado con el último inventario (2017) las emisiones crecieron 2,6 % y desde 1990 han incrementado en un 54,8 %. El comportamiento de la serie temporal se observa en la Figura 7.18. En el caso de las aguas residuales industriales si existen variaciones que se deben a los cambios en la producción anual de las actividades contempladas.

Cuadro 7.25 Emisiones para la categoría 4.D Tratamiento de aguas residuales

Componente	Gas	1990	1996	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Aguas residuales domésticas (Gg)	CH ₄	21,78	25,49	28,00	30,38	32,52	32,89	33,25	33,58	34,01	34,43	34,85	35,25
Aguas residuales domésticas (Gg)	N ₂ O	0,120	0,140	0,154	0,167	0,179	0,181	0,183	0,184	0,187	0,189	0,191	0,194
Aguas residuales industriales (Gg)	CH ₄	2,28	2,47	2,47	2,09	1,83	1,88	2,22	1,62	1,83	1,73	1,90	1,87
Total (Gg)	CO₂ eq	542,44	630,50	687,46	733,47	776,65	785,99	801,48	796,51	810,43	817,93	830,97	839,50

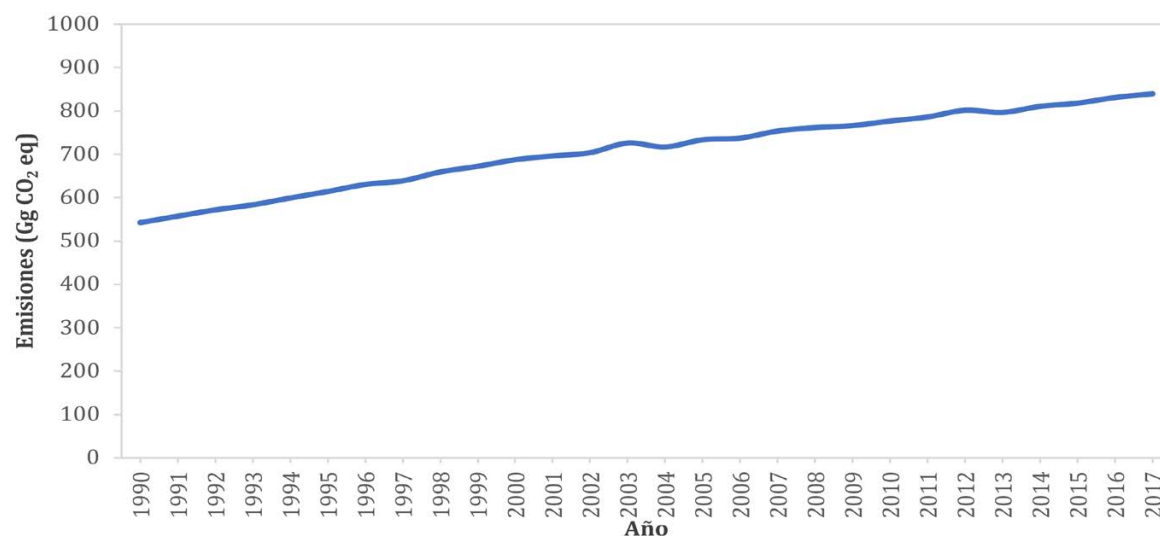


Figura 7.18 Tendencia de las emisiones de la categoría 4.D.

En el cuadro 7.26 se muestran la información básica para la estimación de las emisiones de la categoría.

Cuadro 7.26 Información introductoria para la categoría 4.D.

Gas	Método	Fuente de dato de actividad	Factor de emisión
CH ₄	Nivel 1	EN	D
N ₂ O	Nivel 1	EN	D

7.5.2. Metodología

Para un mejor entendimiento de la estimación de las emisiones en esta categoría, se analizan las aguas residuales domésticas e industriales de manera separada.

7.5.2.1. AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

7.5.2.1.1. EMISIONES DE METANO

Se utilizó un Nivel 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*; es decir, los factores utilizados son en su mayoría valores por defecto.

La estimación de estas emisiones se basa en la aplicación de tres ecuaciones. La primera (ecuación 7.12) es para restimar las emisiones de metano, la segunda (ecuación 7.13) ecuación es usada para estimar el factor de emisión de cada sistema de tratamiento, y la ecuación 7.14 se utiliza para determinar el contenido de carbono orgánico degradable en las aguas servidas.

$$\text{Emisiones de CH}_4 = [\sum_{i,j}(U_i * T_{ij} * EF_j)] * (TOW - S) - R \tag{7.12}$$

Donde:

Emisiones CH₄ = CH₄ emitido en el año T, Gg.

TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de BOD/año.

U_i = fracción de la población del grupo de ingresos i en el año de inventario.

T_{ij} = grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación j, para cada fracción i.

EF_j = factor de emisión por tipo de tratamiento j, kg de CH₄/ kg de BOD

S = componente orgánico separado como lodo durante el año de inventario, kg BOD/año

R = cantidad de CH₄ recuperada durante el año de inventario, kg CH₄/año.

$$EF_j = B_0 * MCF_j \tag{7.13}$$

Donde:

EF_j = factor de emisión por tiempo de tratamiento j, kg de CH₄/ kg de BOD.

B₀ = capacidad máxima de producción de metano, kg CH₄/kg BOD.

MCF_j = factor de corrección de metano para cada sistema j, adimensional.

$$TOW = P * BOD * 0,001 * I * 365 \tag{7.14}$$

Donde:

TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg de BOD/año.

P = población del país en el año del inventario, personas.

BOD = BOD per cápita del país en el año de inventario, g/persona día

0,001 = conversión de gramos a kilogramos de BOD

I = Factor de corrección para BOD industrial adicional eliminado en cloacas (recolectado valor por defecto de 1,25 si no es recolectado valor por defecto de 1).

Factor de emisión y otros parámetros

Como se observa en las ecuaciones anteriores, para la estimación de estas emisiones se requieren una serie de parámetros los cuales se encuentran tabulados en el cuadro 7.27 y corresponden a valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006*, excepto el valor de BOD que fue obtenido directamente de una comunicación con la UEN de Recolección y Tratamiento del AyA y los valores de T_{ij} obtenidos de la *Política Nacional de Saneamiento de Aguas Residuales 2016-2045*.

Cuadro 7.27 Parámetros utilizados en la estimación de emisiones de metano de aguas residuales domésticas

Tipo de disposición final	BOD (g/persona día)	I	B_0 (kg CH ₄ /kgBOD)	(MCF _i)	U_i	T_{ij} (%)	S (kg BOD/año)	R (kg CH ₄ /año)
Tanque séptico	62,3	1,25	0,6	0,5	1	70	0	0
Sistema centralizado con planta de tratamiento		1,25	0,6	0,3	1	14,4	0	0
Alcantarillado sin planta		1,25	0,6	0,1	1	13,4	0	0
Letrina		1,25	0,6	0,7	1	1,6	0	0

Datos de actividad

Los datos de actividad corresponden a la población anual, la cual se muestra en el cuadro 8 de este informe.

7.5.2.1.2. EMISIONES DE N₂O

De acuerdo con las *Directrices del IPCC de 2006*, las emisiones de óxido nitroso (N₂O) pueden producirse como emisiones directas provenientes de las plantas de tratamiento, o como emisiones indirectas provenientes de las aguas residuales después de la eliminación de los efluentes en vías fluviales, lagos o en el mar.

Para estimar las emisiones se utilizó un Nivel 1 que se basa en las siguientes ecuaciones.

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O} = N_{\text{EFLUENTE}} * EF_{\text{EFLUENTE}} * \frac{44}{28} \quad (7.15)$$

Donde:

Emisiones de N₂O = emisiones de N₂O en el año de inventario, kg de N₂O

N_{EFLUENTE} = nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg N/año

EF_{EFLUENTE} = factor de emisión para las emisiones de N₂O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg de N₂O/kg de N

$$N_{\text{EFLUENTE}} = (P * \text{Proteína} * F_{\text{NPR}} * F_{\text{NON-CON}} * F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{lodo}} \quad (7.16)$$

Donde:

$N_{EFLUENTE}$ = cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales, kg de N/año

P = población

Proteína = consumo per cápita anual de proteínas, kg/persona año

F_{NPR} = fracción de nitrógeno en las proteínas, kg N/kg proteína

$F_{NON-CON}$ = factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales

$F_{IND-COM}$ = factor para las proteínas industriales y comerciales coeliminadas en los sistemas de alcantarillado

N_{lodo} = nitrógeno separado con el lodo residual, kg N/año

Factor de emisión y parámetros

Todos los parámetros y factor de emisión usados se encuentran en el cuadro 7.28 y corresponden a los valores por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* excepto el valor de proteína consumida per cápita por año que fue obtenida de la Encuesta Nacional de Consumo de Alimentos (2001).

Cuadro 7.28 Parámetros y factor de emisión para estimar emisiones de N₂O de aguas residuales domésticas

(Proteína) (kg/persona año)	F_{NPR} (kg N/kg proteína)	$F_{NON-CON}$	$F_{IND-COM}$	N_{lodos} (kg)	$E_{EFLUENTE}$ (kg N ₂ O-N/kg N)
22,63	0,16	1,1	1,25	0	0,005

Dato de actividad

Los datos de actividad corresponden a la población anual, la cual se muestra en el cuadro 8 de este informe.

7.5.2.2. AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

7.5.2.2.1. EMISIONES DE METANO

De acuerdo con el Laboratorio de Gestión de Desechos (2019), el cálculo de las emisiones de metano debidas a aguas residuales industriales se calcula para aquellos sistemas de tratamiento en sitio que cuentan con altas cargas de carbono y que realizan procesos anaerobios. Las estimaciones se realizaron por sector industrial utilizando el índice de producción de materia orgánica y así estimar las emisiones de metano. A continuación, se describen las ecuaciones utilizadas para las estimaciones.

$$\text{Emisiones de CH}_4 = \sum_i ((TOW_i - S_i) * EF_i - R_i) \tag{7.17}$$

Donde:

Emisiones CH₄ = CH₄ emitido en el año T, Gg.

TOW_i = total de materia orgánica en las aguas residuales contenidas en la industria i durante el año de inventario, kg de DQO/año.

EF_i = factor de emisión por tiempo de tratamiento j, kg de CH₄/ kg de DQO.

S_i = componente orgánico separado como lodo durante el año de inventario, kg DQO /año.

R_i = cantidad de CH₄ recuperada durante el año de inventario, kg CH₄/año.

$$EF_j = B_0 * MCF_j \quad (7.18)$$

Donde:

EF_j = factor de emisión por tiempo de tratamiento j , kg de CH_4 / kg de DQO.

B_0 = capacidad máxima de producción de metano, kg CH_4 /kg DQO.

MCF_i = factor de corrección de metano para cada sistema j , adimensional.

$$TOW_i = P_i * DQO_i \quad (7.19)$$

Donde:

TOW_i = total de materia orgánica en las aguas residuales contenidas en la industria i durante el año de inventario, kg de DQO /año.

P_i = producto industrial total del sector industrial i , t/año.

DQO_i = DQO por unidad de producto, kg DQO/t producto.

Factor de emisión y otros parámetros

Se determinaron seis actividades productivas a las que se les cuantificaron las emisiones de metano tanto de las aguas tratadas como de las aguas no tratadas. Todos los parámetros requeridos para la estimación y usados en las ecuaciones 7.17, 7.18 y 7.19 se encuentran en el cuadro 7.29 por tipo de actividad.

Cuadro 7.29 Parámetros para la estimación de emisiones del tratamiento de aguas industriales

Sector	TOW	Fracción de agua tratada	MCF aguas tratadas	MCF aguas no tratadas	Bo
	(kg DQO/ unidad)	Adimensional	Adimensional	Adimensional	kg CH_4 / kg DQO
1. Bobino sacrificados (cabezas)	11,07	0,2	0,9	0,1	0,25
2. Porcinos sacrificados (cabezas)	5,32	0,28	0,9	0,1	0,25
3. Aves sacrificadas	0,0407	0,28	0,9	0,1	0,25
4. Beneficiado de café (fanegas procesadas)	6,1	0,37	0,9	0,1	0,25
5. Caña procesada (Toneladas)	0,059	0,2	0,9	0,1	0,25
6. Palma (Toneladas de fruta)	0,62	0,95	0,9	0,1	0,25

Dato de actividad

Los datos de actividad corresponden a las unidades productivas indicadas en la primera columna del cuadro 7.24 para cada año del inventario. Estos datos se encuentran para toda la serie temporal en el cuadro 7.30. Todos los datos se obtuvieron de las estadísticas de SEPSA (2020).

7.5.3. Incertidumbre y coherencia temporal

Incertidumbre

Los datos para la estimación de la incertidumbre por propagación del error se muestran en el cuadro 7.31.

Cuadro 7.30 Datos de actividad para las emisiones de las aguas residuales industriales

Año	Ganado vacuno (cabezas)	Porcicultura (cabezas)	Avicultura (cabezas)	Café fruta (fanegas)	Caña (toneladas)	Fruta de palma (toneladas)
1990	328864	60848	14330333	3175494	2437000	333000
1991	353227	73766	15821667	3408628	2629000	292000
1992	304154	81997	16649000	3615929	2840000	357000
1993	307876	81401	17417000	3384190	2987000	364000
1994	358836	98328	18111667	3296225	2985000	475000
1995	351818	100616	20141333	3257154	3439000	490000
1996	362456	85661	21955667	3364336	3153000	422000
1997	323830	90403	20946000	2901676	3682000	489000
1998	308383	105554	21830000	3379206	3670000	444000
1999	317439	123345	24826667	3239036	3363000	492000
2000	309267	131146	24413333	3338292	3398000	609000
2001	279493	151984	25720000	3056530	3472000	666000
2002	256802	153467	25574667	2852917	3462000	571200
2003	278576	152466	23940000	3761573	3959200	581000
2004	263227	161622	28153667	2202549	3755100	670000
2005	303526	164932	30317667	2614296	3615600	780000
2006	283226	173427	32753667	2101893	3251613	872440
2007	303925	204554	36792333	2518372	4087565	825000
2008	329025	213842	35530000	2329079	3596724	863200
2009	348457	211324	36849333	1901451	3635409	897750
2010	366475	198232	35049667	2021455	3734732	985800
2011	360885	220655	33416000	2082028	3418193	1050000
2012	329010	231408	39611000	2635490	4005752	1111250
2013	319661	228763	39946000	1611443	4411088	1303960
2014	331551	234429	41233333	2012375	4344048	884406
2015	308206	244995	41522333	1884016	4265913	816000
2016	274253	257167	42755333	2135818	4158370	1089448
2017	293200	258356	44400000	2046352	4142143	1095800

Cuadro 7.31 Incertidumbres por propagación del error para la categoría 4.D

<i>Factor de Emisión</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Aguas residuales domésticas CH ₄	50	Por defecto para la combinación de los parámetros involucrados
Aguas residuales domésticas N ₂ O	50	Por defecto
Aguas residuales industriales CH ₄	30	Por defecto
<i>Actividad</i>		
Parámetros asociados	Incertidumbre (±%)	Justificación incertidumbre
Cantidad de aguas tratadas	30	Por defecto
Incertidumbre Aguas residuales domésticas CH ₄	58,3	
Incertidumbre Aguas residuales domésticas N ₂ O	58,3	
Incertidumbre Aguas residuales industriales CH ₄	42,4	

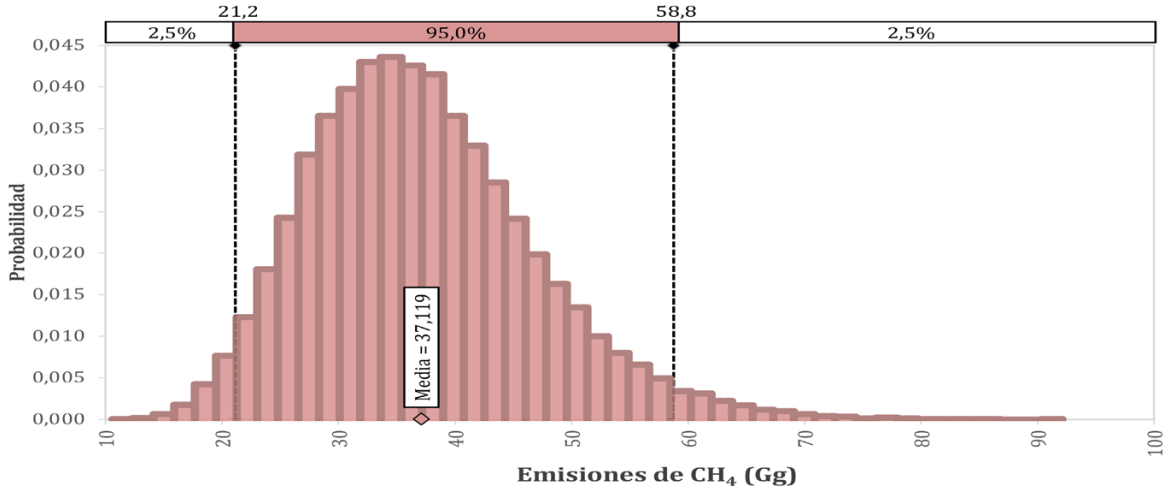


Figura 7.19 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de CH₄ de la categoría 4.D.

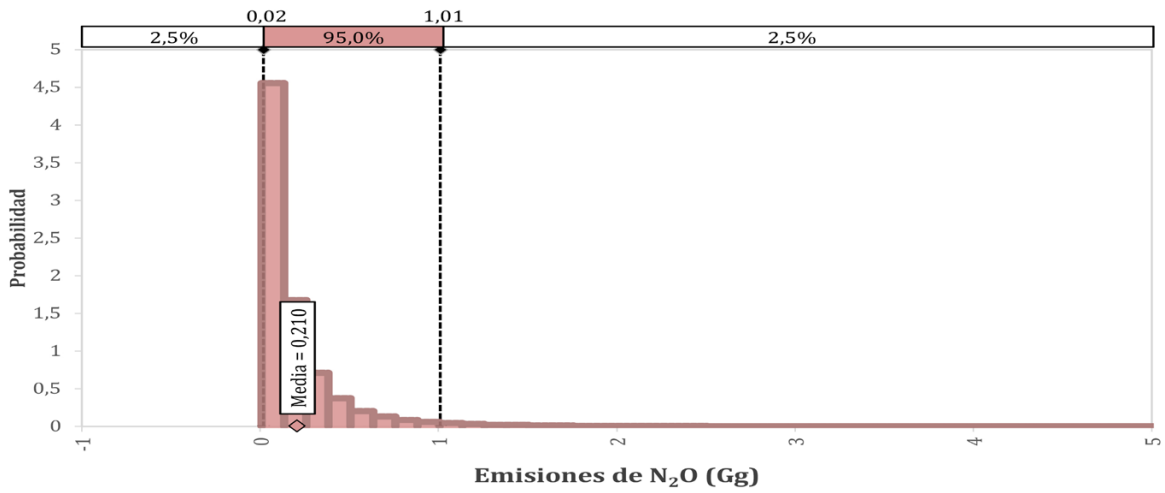


Figura 7.20 Simulación de Monte Carlo para las emisiones de N₂O de la categoría 4.D.

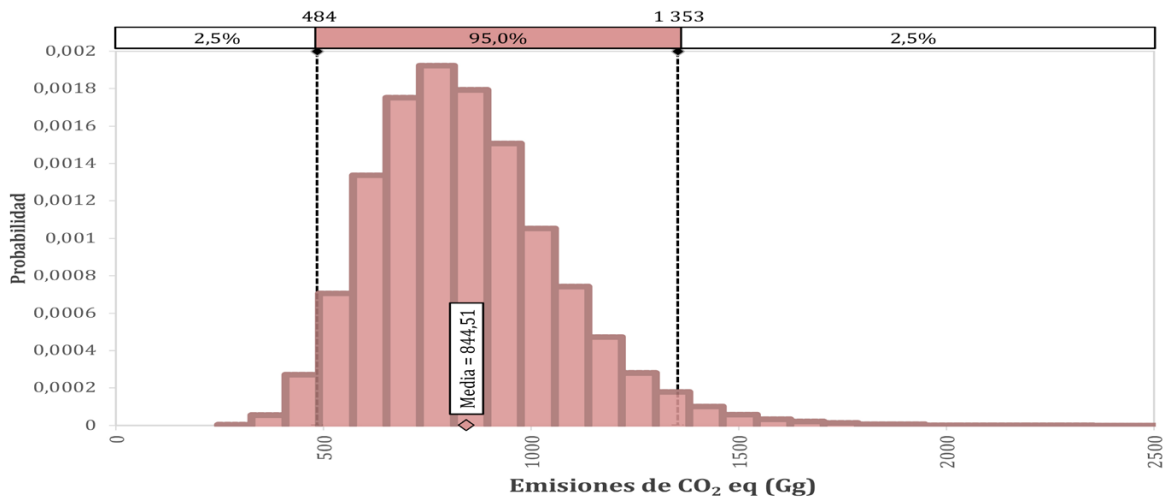


Figura 7.21 Simulación de Monte Carlo para las emisiones totales de la categoría 4.D expresadas como CO₂ eq.

Para el caso de las incertidumbres estimadas por simulación de Monte Carlo, se usaron los mismos valores del cuadro 7.31 usando dispersiones de probabilidad normales. Los resultados para CH₄, N₂O y el total como CO₂ equivalente para la categoría se muestran en las Figuras 7.19, 7.20 y 7.21.

Como CO₂ equivalente, se puede asegurar con 95% de confianza que las emisiones de la categoría 4.D son 844,51 Gg y se encuentran entre 484 Gg y 1353 Gg.

Coherencia temporal

Para asegurar la coherencia temporal todos los datos fueron obtenidos de las mismas fuentes indicadas anteriormente y se utilizó la misma metodología en toda la serie.

7.5.4. Control y aseguramiento de la calidad y verificación para la categoría

Los datos son sometidos a controles en las hojas electrónicas. Además, se aplica la verificación indicada en el Anexo K.

7.5.5. Recálculos

Para los inventarios de 1990, 1996, 2000 y 2005, los datos de actividad fueron distintos; además, la metodología aplicada fue diferente, mientras que para 2010, 2012 y 2015 el único cambio es el dato de actividad ya que la metodología utilizada fue la misma. Los datos recalculados para los inventarios anteriores comparados con los valores reportados anteriormente se muestran en la Figura 7.22.

7.5.6. Plan de mejora

Al igual que las otras categorías de este sector, se espera recopilar información más detallada para el próximo ciclo de inventario. Además, se revisará el valor de DBO brindado por el AyA y el valor de consumo de proteína per capita del Ministerio de Salud.



Figura 7.22 Recálculos para la categoría 4.D.

7.6. Incertidumbre del sector

La incertidumbre combinada del sector usando propagación del error es de $\pm 34,5\%$.

Al combinar los datos por medio de simulaciones de Monte Carlo, se obtuvieron los valores de emisiones mostrados de la Figura 7.23 a la 7.26 por gas y el total del sector como CO₂ equivalente con sus respectivos valores de incertidumbre a un 95% de confianza. En total, como se muestra en la Figura 7.26, se obtuvo una media de 2141,03 Gg de CO₂ eq con valores que pueden ir desde 1589 Gg de CO₂ eq hasta 2794 Gg de CO₂ eq.

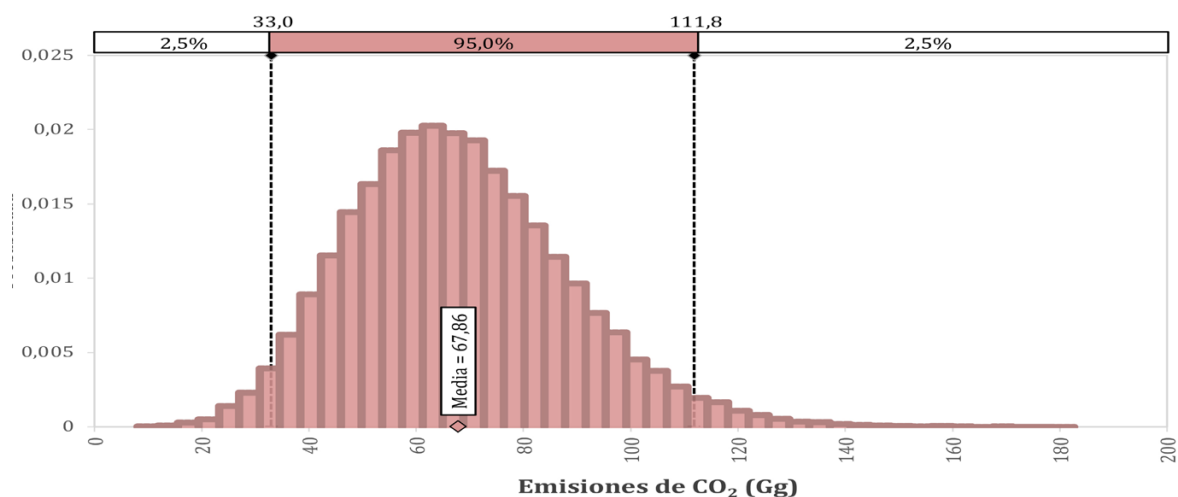


Figura 7.23 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CO₂ del sector residuos.

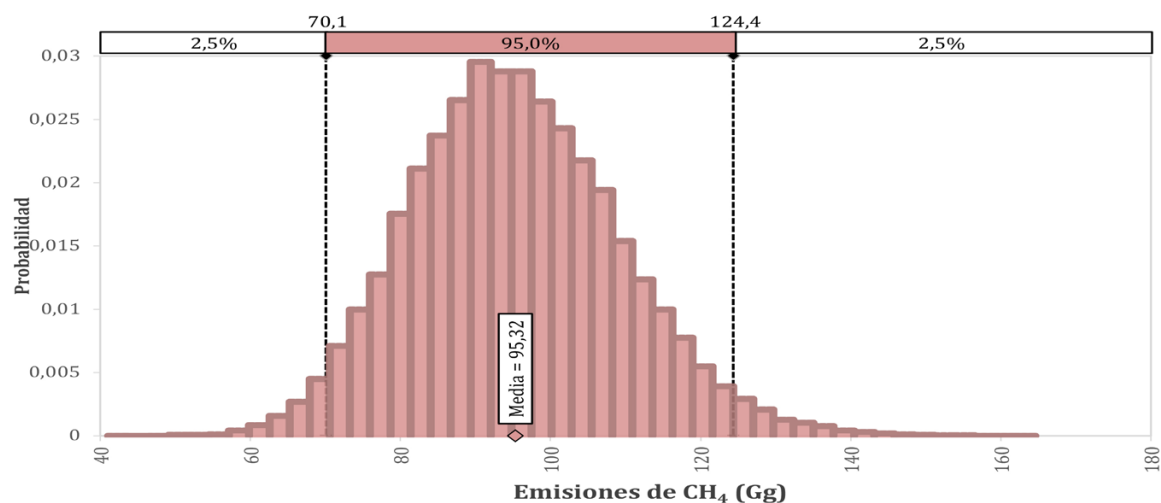


Figura 7.24 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de CH₄ del sector residuos.

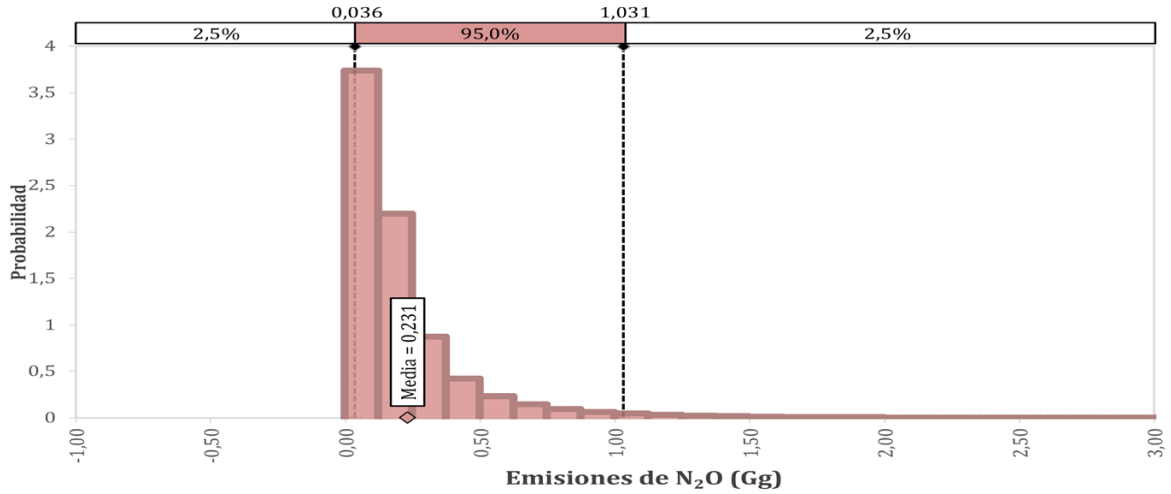


Figura 7.25 Simulación de Monte Carlo de las emisiones de N₂O del sector residuos.

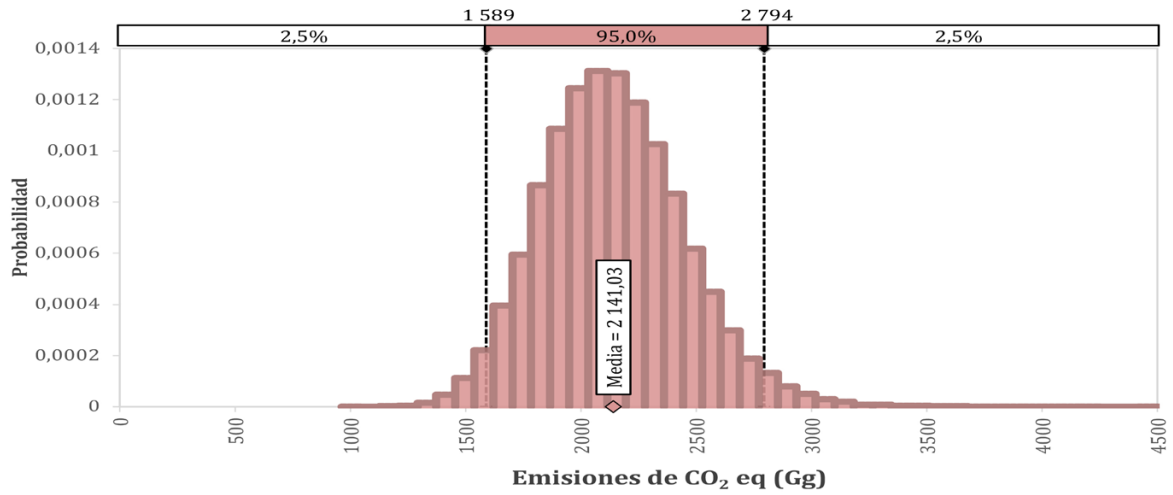


Figura 7.26 Simulación de Monte Carlo de las emisiones totales del sector residuos.

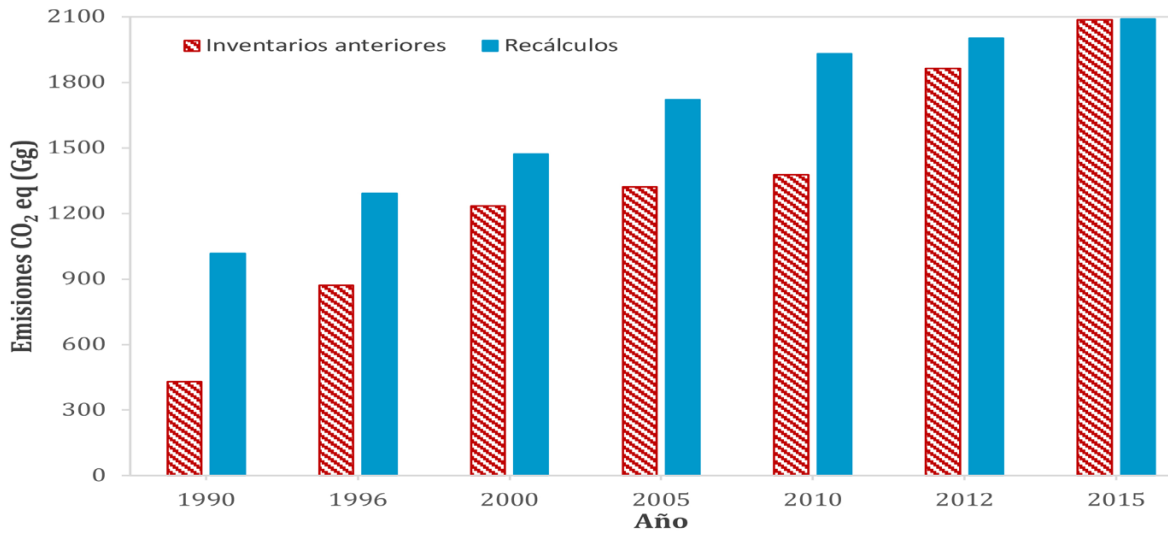


Figura 7.27 Recálculos totales para el sector Residuos.

7.7. Recálculos del sector

Al agrupar los recálculos de todas las categorías mostrados anteriormente se puede observar, en la Figura 7.27, que el año con mayor diferencia fue 1990 en donde los recálculos son 136 % mayores a los valores reportados anteriormente. En el caso de 2012 y 2015 la diferencia es pequeña, 7,4 % en 2012 y 0,27 % en 2015.

7.8. Plan de mejora del sector

Igual que en 7.5.6.

7.9. Emisiones de carbono negro

La incineración abierta de residuos produce emisiones de carbono negro, en el 2017 se contabilizaron 0,047 Gg de carbono negro en este sector.

8. MEJORAS DEL INGEI

8.1. Mejoras generales realizadas y planeadas del INGEI

8.1.1. Mejoras realizadas

La principal mejora para este ciclo de inventario fue la incorporación de las estimaciones de GEI para todas las categorías para todos los años en el período 1990-2017. Además, se incorporaron algunas mejoras puntuales detalladas en el cuadro a continuación:

Cuadro 8.1 Mejoras realizadas en el ciclo de inventario 1990-2017

Sector	Categoría del IPCC	Mejora
General	Todas las categorías	Estimación de incertidumbre por Método 2: Monte Carlo. Análisis de categorías principales por Método 1 para tendencia usando <i>Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006</i> .
	Todas las categorías	Mediante el "Estudio de parámetros energéticos de la biomasa utilizada en el sector energía en Costa Rica" se mejoró la estimación del CO ₂ biogénico.
Energía	1.A.3e Aviación de cabotaje	La gasolina de avión se obtuvo directamente de RECOPE evitando contabilizar la usada en aviación internacional.
	1.B.2a Petróleo	Uso de <i>Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006</i> .
	1.B.3 Otras emisiones provenientes de la producción de energía	Mejora en el factor de emisión.
IPPU	2.A.1 Cemento	Aplicación de Nivel 3
	2.F.1 Refrigeración y aire acondicionado	Se mejoró la desagregación de la categoría incluyendo los aires acondicionados móvil. Además, se aplicaron algunos factores nacionales.
	2.F.6 Otras aplicaciones: procesos de transferencia de flúor a vidrio	Categoría nueva.
Agricultura	Todas las categorías	Uso de más factores mejorados generados en el país.
	Varias categorías (ver Cuadro 1.2)	Uso de <i>Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006</i> .
	Todas las categorías	Uso de datos de actividad mejorados para toda la serie 1990-2017 y mayor desagregación de las categorías.
FOLU	3.B.1a Plantaciones forestales	El secuestro de carbono se ajustó a las edades y manejo de las especies plantadas en el país.
	3.C.1a Quemadas de biomasa forestal	Mejora en el factor de emisión.

Sector	Categoría del IPCC	Mejora
Residuos	3.A. Tratamiento de residuos sólidos	Uso parcial de <i>Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006</i> .
	3.B. Tratamiento biológico de los residuos sólidos	Uso de datos nacionales por sitio de procesamiento

8.1.2. Mejoras generales planeadas

A continuación, se enlistan las mejoras generales planeadas para el próximo ciclo de inventario:

- Se actualizarán los valores de potencial de calentamiento global.
- Se incluirá la métrica “Global Temperature Potential” (GTW).
- Se realizará una revisión al Método de Monte Carlo, especialmente, en los casos en los que hay incertidumbres asimétricas.
- Estimación de las categorías principales usando el Método 2.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019: Technical guidance to prepare national emission inventories. Ciudad de Luxemburgo, Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Recuperado de <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eeaguidebook-2019>.
- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016: Technical guidance to prepare national emission inventories. Ciudad de Luxemburgo, Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Recuperado de <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eeaguidebook-2016>.
- Agencia Europea del Medio Ambiente. (2013). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013: Technical guidance to prepare national emission inventories. Ciudad de Luxemburgo, Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Recuperado de <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eeaguidebook-2013>.
- Alvarado, F, Fernández, D., Martínez, F, Picado, L, Ruiz, G. (2009). Memoria Estadística del Sector Energía 1989-2008. Dirección Sectorial de Energía- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. San José, Costa Rica.
- Arce, H; Barrantes, A. (2004). La madera en Costa Rica: situación actual y perspectivas. ONF-FONAFIFO. 25 p.
- Asamblea Legislativa de Costa Rica. (1995). Ley Orgánica del Ambiente. Consultado el 8 de junio de 2021. Disponible en: http://pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=27738
- Asamblea Legislativa de Costa Rica. 1996. Ley Forestal 7575. Consultado el 8 de junio de 2021. Disponible en http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=41661
- AyA, MINAE, Ministerio de Salud. (2016). Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales 2016-2045.
- Barrantes R, A; Paniagua V, R; Salazar Ch, G. (2011). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2010. Oficina Nacional Forestal. 26 p.
- Barrantes R, A; Salazar Ch, G. (2007). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2006. San José, CR. Oficina Nacional Forestal. 28 p.
- Barrantes R, A; Salazar Ch, G. (2008). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2007. San José, CR. Oficina Nacional Forestal. 32 p.
- Barrantes R, A; Salazar Ch, G. (2010). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2009. San José, CR. Oficina Nacional Forestal. 24 p.
- Barrantes Rodríguez, A; Ugalde Alfaro, S. (2012). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2011. San José, CR. Oficina Nacional Forestal. 28 p.
- Barrantes Rodríguez, A; Ugalde Alfaro, S. (2013). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2012. San José, CR. ONF. 40 p.

- Barrantes Rodríguez, A; Ugalde Alfaro, S. (2014). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2013. San José, CR. ONF. 40 p.
- Barrantes Rodríguez, A; Ugalde Alfaro, S. (2015). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2014. San José, CR. ONF. 40 p.
- Barrantes Rodríguez, A; Ugalde Alfaro, S. (2016). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2015. San José, CR. ONF. 40 p.
- Barrantes Rodríguez, A; Ugalde Alfaro, S. (2017). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2016. San José, CR. ONF. 44 p.
- Bertani, R., and Thain, I.: Geothermal power generating plant CO₂ emission survey. *IGA News*, **49**, (2002), 1-3.
- Blanco, K. (2017). Análisis de incertidumbre utilizando el método de Monte Carlo, en la evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector energía, en el año 2012, en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 16(1):31-47.
- Blanco, K. (2016). Evaluación de las emisiones de dióxido de carbono del proceso de producción de cal hidratada en la planta de Industrias de Calcio S.A. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 14 (2), pp. 5-11.
- Blanco, K.; Chacón, AR., Jiménez, G., Montenegro, J., Sasa, J. (2019). Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de Carbono 2015. Minae-IMN. San José, Costa Rica.
- Calderón Vargas, JF. (2000). Investigación sobre la problemática del sector silvicultura en Costa Rica. San José. CR. Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. 21 p.
- Canet B, G; Chavarría E, MI; Gamboa J, O; Garita C, D; Jiménez, ML; Lobo V, S; Marín G, P; Sevilla E, L; Trejos E, Z; Valerio V, M. (1996). Información estadística relevante sobre el sector silvicultura 1972-1995. San José, CR. MINAE-SINAC. 90 p.
- Cempa en Venta. (20 de julio de 1999). *La Nación*. Recuperado de: <https://www.nacion.com/economia/cempa-en-venta/HVBNINDUC5HLRBYTUU54B72E7A/story/>
- Centro Nacional de Control de Energía-Instituto Costarricense de Electricidad. (2020). Informes anuales de generación y demanda 2012-2017. Lugar de Publicación: <https://apps.grupoice.com/CenceWeb/CenceDescargaArchivos.jsf?init=true&categoria=3&codigoTipoArchivo=3008>
- CEPAL. (2020). Estadísticas del Subsector Eléctrico de los países del Sistema de Integración Centroamericana. 1990-2017. Publicado en: <https://repositorio.cepal.org/>
- Chacón, AR., Jiménez, G., Montenegro, J., Sasa, J., Blanco, K. (2015). Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de Carbono 2012. Minae-IMN. San José, Costa Rica.
- Chacón, AR., Jiménez, G., Montenegro, J., Sasa, J., Blanco, K. (2014). Inventario nacional de gases de efecto invernadero y absorción de Carbono 2010. Minae-IMN. San José, Costa Rica.
- Chacón, AR., Jiménez, G., Montenegro, J., Sasa, J. (2009). Inventario nacional de emisión de gases con efecto invernadero y de absorción de carbono en Costa Rica en el 2000 y 2005. Minae-IMN. San José, Costa Rica.
- Cifuentes, M. (2008). Aboveground Biomass and Ecosystem Carbon Pools in Tropical Secondary Forests Growing in Six Life Zones of Costa Rica.
- CORFOGA. (2012). Encuesta ganadera, principales resultados.
- CORFOGA. (2001). Censo ganadero 2000. 18 p.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. (2019). Primer informe Situación de la Gestión de los Residuos Sólidos para la determinación de la NAMA residuos Costa Rica. Hamburgo, Alemania.

- DGEC (Dirección General de Estadística y Censo). (1990). Artículos exportados según peso bruto y valor FOB por sección, capítulo, partida arancelaria y país. San José, CR. 175 p.
- DGEC (Dirección General de Estadística y Censo). (1991). Artículos exportados según peso bruto y valor FOB por sección, capítulo, partida arancelaria y país. San José, CR. 175 p.
- DGEC (Dirección General de Estadística y Censo). (1992). Artículos exportados según peso bruto y valor FOB por sección, capítulo, partida arancelaria y país. San José, CR. 189 p.
- DGEC (Dirección General de Estadística y Censo). (1993). Artículos exportados según peso bruto y valor FOB por sección, capítulo, partida arancelaria y país. San José, CR. 212 p.
- DGEC (Dirección General de Estadística y Censo). (1994). Artículos exportados según peso bruto y valor FOB por sección, capítulo y partida arancelaria. San José, CR. 363 p.
- DGEC (Dirección General de Estadística y Censo). (1995). Exportaciones: artículo por país, capítulo y sección. San José, CR. 275 p.
- DGEC (Dirección General de Estadística y Censo). (1996). Exportaciones de Costa Rica: valor y cantidad según partida arancelaria. San José, CR. 256 p.
- DGEC (Dirección General de Estadística y Censo). (1997). Exportaciones por peso en kilogramos y cantidad de dólares según partida arancelario y país de destino de los productos. San José, CR. 315 p.
- DGF (Dirección General Forestal). (1988). Censo de la industria forestal. San José, CR. MIRENEM. 59 p.
- DGF (Dirección General Forestal). (1993). Anuario Estadístico de productos forestales de exportación e importación 1991 y 1992. San José, CR. MIRENEM-DGF. 52 p.
- DGF (Dirección General Forestal). (1994). Boletín Estadístico Forestal N5 1990-1993. San José, CR. MIRENEM-DGF. 97 p.
- Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2018). Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura 2017. Costa Rica. Recuperado de: <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/123456789/4105>
- Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2011). Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura 2010. Costa Rica. Recuperado de: <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/123456789/113>
- Dirección de Planificación Sectorial del Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2006). Anuario Estadístico del Sector Transporte e Infraestructura 2005. Costa Rica. Recuperado de: <http://repositorio.mopt.go.cr:8080/xmlui/123456789/124>
- Entrada de Reventazón apaga otra planta térmica. (7 de julio de 2016). La Nación. Recuperado de: <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/entrada-de-reventazon-apaga-otra-planta-termica/B543G5RI5ZENHFDWZYLXJMLUBY/story/>
- Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR). (2020). Lugar de publicación: <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>
- Escuela de Ingeniería Química. (2020). Estudio de parámetros energéticos de la biomasa utilizada en el sector energía en Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Instituto Meteorológico Nacional-MINAE. San José, Costa Rica.
- Espinoza, A. (2008). Producción y demanda de madera en Costa Rica. *Ambientico*. 184: 3-4.
- Faba, L. (2014). Procedimiento Corporativo para de Gestión de Proyectos para la Empresa Grupo Vical S.A. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

- Fagan ME; DeFries, RS; Sesnie, SE; Arroyo, JP; Walker, W; Soto, C; Chazdon, RL; Sanchun, A. (2013). Land cover dynamics following a deforestation ban in northern Costa Rica. *Environmental Research Letters*. 8.
- FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal). (2021). Hectáreas bajo contratos del Programa de Pago por Servicios Ambientales, en la actividad de reforestación. San José, Costa Rica. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal.
- Fonseca W., Alice F., Rey J.M. (2009). Modelos para estimar la biomasa de especies nativas en plantaciones y bosques secundarios en la zona Caribe de Costa Rica. *BOSQUE* 30(1): 36-47
- Fridriksson, T., Mateos A., Oruco, A.Y.; Audinet, P. (13-15 febrero de 2017). Greenhouse Gas Emissions from Geothermal Power Production. 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, Estados Unidos.
- Geothermal Energy Association (2007) de EEUU Geothermal Energy Association. 2007. A Guide to Geothermal Energy and the Environment. Washington D.C, Geothermal Energy Association.
- Holdridge, L.R. (1966). The Life Zone System, *Adansonia* VI: 2: 199-203.
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2015). Costa Rica: Modelo propio de sostenibilidad Energía geotérmica 2015. San José, Costa Rica. Lugar de publicación: https://www.grupoice.com/wps/wcm/connect/8823524c-7cc7-4cef-abde-a1f06e14da0e/matriz_folleto_web2.pdf?MOD=AJPERES&CVID=I8SK4gG
- Instituto Español del Cemento y Sus Aplicaciones (IECA). (s.f) Componentes y Propiedades del Cemento. Recuperado el 14 de noviembre de 2019 de http://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179.
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). (2014). Fracción destinada a sitios de eliminación de desechos sólidos. San José, CR. Instituto Meteorológico Nacional
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: resultados generales. San José, CR. INEC. 147 p. y 280 p.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). (2018). Encuesta Nacional Agropecuaria 2017. Resultados generales de las actividades ganaderas vacuna y porcina. 52p
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo). (2018). Estadísticas de la construcción: Área en m² de las construcciones y ampliaciones por años según provincia, tipo y destino de la obra 1983-2017. (en línea). Consultado 3 feb 2021. Disponible en <http://www.inec.go.cr/economia/estadisticas-de-la-construccion>
- Instituto Meteorológico Nacional. (2000). Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica Año 1996. MINAE-IMN. San José, Costa Rica.
- Instituto Meteorológico Nacional. (1995). Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases de Efecto Invernadero en Costa Rica Año 1990. MIRENEM-IMN. San José, Costa Rica.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol. EDs. Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. CH. Institute for Global Environmental Strategies. 268 p.
- Kachwaha R.S., Ponciano, R.(1977). Apreciaciones sobre la situación técnica de las tres plantas de fertilizantes de FERTICA S.A., en Centroamérica: Puntarenas-Costa Rica; Acajutia-El Salvador; Tecun Uman- Guatemala. Comisión Económica para América Latina (CEPAL). México.
- Martínez H, HA. (2014). Fomento de la reforestación comercial para mejora y conservación de las reservas de carbono. San José, CR. FONAFIFO. 39 p.

- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía). (2016). Código de prácticas de los estándares de sostenibilidad para el manejo de los bosques secundarios. Decreto N° 39952-MINAE. 9 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía). (2016). Modified REDD+ Forest Reference emission level/forest reference level (FREL/FRL). Submission to the UNFFCCC Secretariat for technical review according to Decision 13/CP.19. Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). San José, Costa Rica. 59 p.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía); SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación); FUNDECOR. (2001). Mitos y realidades de la deforestación en Costa Rica. Sarapiquí, Costa Rica. 14 p.
- Ministerio de Salud. (2001). Encuesta Nacional de Consumo de Alimentos. San José, Costa Rica.
- Moie, J. (2019). Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Refrigeración y Aire Acondicionado para Costa Rica (2012-2016). Cool Contributions fighting Climate Change (C4) Project Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. San José, Costa Rica.
- Monni, S., Syri, S. and Savolainen I. (2004). 'Uncertainties in the Finnish greenhouse gas emission inventory'. *Environmental Science and Policy* 7, pp.87-98
- Montenegro, J; Abarca, S. (2001). Importancia del sector agropecuario costarricense en la mitigación del calentamiento global. Ministerio de Agricultura y Ganadería – Instituto Meteorológico Nacional.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2019). Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland. IGES, Japón.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2006). Directrices del IPCC del 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. IGES, Japón.
- PROCOMER (Promotora de Comercio Exterior de Costa Rica). (2018). Exportaciones de 1998 al 2016. (en línea). Consultado 3 feb 2021. Disponible en <http://sistemas.procomer.go.cr/estadisticas/inicio.aspx>.
- Programa REDD+/CCAD-GIZ-SINAC. (2015). Inventario Nacional Forestal de Costa Rica 2014-2015. Resultados y caracterización de los recursos forestales. Preparado por: Emanuelli, P., Milla, F., Duarte, E., Emanuelli, J., Jiménez, A., y Chavarría, M.I. Programa de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal en Centroamérica y la República Dominicana (REDD+/CCAD/GIZ) y Sistema Nacional de Áreas Conservación (SINAC). San José, Costa Rica. 380 p.
- Ramírez, A., de Kaizer, C., Van der Sluijs, J.P., Olivier, J., Brandes, L., (2006). Monte Carlo analysis of uncertainties in the Netherlands greenhouse gas emission inventory for 1990–2004. Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation. Utrecht, Netherlands.
- Refinadora Costarricense de Petróleo. (2019). Manual de Productos. Costa Rica. Recuperado de: <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2019/06/Manual-de-Productos-2019.pdf>
- Refinadora Costarricense de Petróleo. (2020). Estadísticas de ventas. Costa Rica. Lugar de publicación: <https://www.recope.go.cr/productos/ventas/>
- Sandí Ch, SL. (2008). El sector conservacionista y la problemática del abastecimiento sostenible de madera en Costa Rica. In: Abastecimiento sostenible de madera en Costa Rica. San José, CR. OET. 120 p.
- Secretaría de Planificación del Subsector Energía. (2020). Balances Energéticos Nacionales de Costa Rica. 2012-2017. Lugar de publicación: <https://sepse.go.cr/ciena/balances-energeticos/>

- SINAC (Sistema Nacional de Áreas de Conservación). (2020). Área afectada por incendios forestales. Programa de Manejo del Fuego. SINAC-Departamento Control Forestal.
- Ugalde, S; Alice, F; Rodríguez, R. (2019). Aporte de los productos de madera recolectada dentro del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Costa Rica. Informe de consultoría. Oficina Nacional Forestal. San José, Costa Rica.
- Vega, M. (1997). Evaluación de las emisiones de dióxido de carbono en la producción de cemento y análisis de mitigación en Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional.
- Villalobos Flores, R; Retana, JA; Acuña, A. (S.f.). El niño y los incendios forestales en Costa Rica. San Jose, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional. 11 p.

ANEXOS

Anexo A: Resumen de emisiones por sector en 2017

A.1. Sector Energía.

Cuadro A.1.1. Emisiones por tipo de gas del sector energía en 2017

CATEGORÍA DE FUENTE O SUMIDERO DE GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	(Gg)				SO ₂	BC (kg)
				NO _x	CO	NM VOC			
Total Energía	7762,88	3,85	0,45	64,55	408,74	80,04	4,55	1758778,59	
A. Actividades de la quema de combustibles (sectores)	7669,66	3,85	0,45	64,55	408,74	80,04	4,55	1758778,59	
1. Industrias de la energía	61,62	0,05	0,01	0,19	0,14	0,01	0,21	6401,09	
a. Producción de electricidad y calor	29,22	0,04	0,01	0,16	0,12	0,01	0,19	6170,71	
b. Refinación de petróleo	32,40	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,02	209,31	
c. Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de energía	IE	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	21,07	
2. Industrias manufactureras y de la construcción	1250,69	0,59	0,08	7,03	14,69	6,07	4,21	822342,57	
a. Hierro y acero	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
b. Metales no ferrosos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
c. Sustancias químicas	45,79	0,00	0,00	0,28	0,04	0,02	0,02	5878,08	
d. Pulpa, papel e imprenta	37,53	0,01	0,00	0,28	0,26	0,13	0,03	21072,07	
e. Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	401,01	0,39	0,05	3,32	7,39	3,86	0,33	532588,13	
f. Metales no ferrosos	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
g. Equipo de transporte	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
h. Maquinaria	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
i. Minería y canteo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
j. Madera y productos de la madera	16,78	0,14	0,02	0,51	2,72	1,43	0,06	161929,98	
k. Construcción	90,81	0,01	0,00	0,63	0,08	0,03	0,06	13719,12	
l. Textiles y cuero	45,25	0,00	0,00	0,30	0,04	0,02	0,03	6413,36	
m. Industria no especificada	613,52	0,03	0,01	1,72	4,16	0,58	3,69	80741,83	
3. Transporte	5879,89	1,58	0,34	56,13	376,58	71,09	NE	624982,13	
a.ii Aviación doméstica	44,93	0,00	0,00	NE	NE	NE	NE	NE	
b. Transporte terrestre	5646,52	1,54	0,27	54,17	371,12	70,04	NE	591740,74	
c. Ferrocarril	4,62	0,00	0,00	0,05	0,06	0,01	NE	2173,85	
d.ii Navegación doméstica	4,80	0,00	0,00	0,05	0,06	0,01	NE	2256,299968	
e. Otro transporte	179,01	0,04	0,06	1,86	5,34	1,03	NE	28811,25	

Cuadro A.1.1. (continuación) Emisiones por tipo de gas del sector energía en 2017

CATEGORÍA DE FUENTE O SUMIDERO DE GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x (Gg)			CO	NMVOC	SO ₂	BC (kg)
4. Otros sectores	477,45	1,63	0,02	1,19	17,32	2,87	0,13	305052,80		
a. Comercial/Institucional	118,10	0,36	0,01	0,48	0,74	0,39	0,04	61973,87		
b. Residencial	186,19	1,24	0,02	0,48	16,54	2,46	0,09	159883,40		
c. Agricultura/silvicultura/pesca	173,16	0,02	0,00	0,24	0,05	0,01	0,00	83195,52		
5. No especificado										
a. Estacionaria	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
b. Móvil	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B. Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	93,22	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE	NO,NE
1. Combustibles spolidos										
a. Minería y manejo de carbón	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
b. Combustión espontánea y vertederos para quema de carbón	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
c. Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
2. Petróleo y gas natural										
a. Petróleo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
b. Gas natural	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
c. Quema en antorcha	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
d. Otros	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
3. Otras emisiones de la producción de energía	93,22	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
C. Transporte y almacenamiento de CO₂										
1. Transporte de CO ₂	NO									
2. Inyección y almacenamiento	NO									
3. Otros	NO									
Memo ítems:										
Bunkers internacionales	979,33	0,04	0,03	0,01	0,00	0,00	NE	NE	NE	NE
Aviación	654,03	0,01	0,02	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Navegación	325,30	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	NE	NE	NE	NE
Operaciones multilaterales	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CO₂ proveniente de biomasa	2601,95									
CO₂ capturado	NO									
Para almacenamiento doméstico	NO									
Para almacenamiento en otros países	NO									

A.2. Sector Procesos Industriales y Uso de Productos

Cuadro A.2.1. Resumen de emisiones del sector IPPU en 2017

CATEGORÍA DE FUENTE O SUMIDERO DE GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	Mezclas no especificadas de HFCs y PFCs	SF ₆	NF ₃	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
					CO ₂ equivalente (Gg)							
Total de IPPU	741,77	NO, NA	NO, NA	636,43	NO, NA	NO, NA	0,000016	NO, NA	NE	NO, NA	39,1	0,56
A. Industria de los minerales	741,43								NE	NO, NA	NA	0,56
1. Producción de cemento	718,65											
2. Producción de cal	1,96											
3. Producción de vidrio	16,67											
4. Otros usos de carbonatos en los procesos	4,15											
B. Industria química	0,34	NO, NA	NO, NA	NO, NA	NO, NA	NO, NA	NO, NA	NO, NA	NE	NO, NA	NA	NE
1. Producción de amoníaco	NO	NA	NA						NA	NO	NA	NA
2. Producción de ácido nítrico			NO						NO			
3. Producción de ácido adipico	NO		NO						NO	NO	NO	
4. Producción de caprolactama, glicol y ácido glioxílico	NO		NO									NO
5. Producción de carburo	0,34	NE							NO	NE	NE	NE
6. Producción de dióxido de titanio	NO											
7. Producción de ceniza de sosa	NO											
8. Producción petroquímica y de negro de humo	NO	NO							NO	NO	NO	NO
9. Producción fluorquímica												
10. Otros	NA	NA	NO	NO, NA	NO, NA	NO, NA	NO, NA	NO, NA	NO	NO, NA	NO, NA	NO
C. Industria de los metales	NO, NE	NO	NO						NO	NO	NO	NO
1. Producción de hierro y acero	NE	NO							NO	NO	NO	NO
2. Producción de ferroaleaciones	NO	NO							NO	NA	NO	NO
3. Producción de aluminio	NO				NO				NO	NO	NA	NO
4. Producción de magnesio	NO								NO	NO	NO	NO
5. Producción de plomo	NO								NO	NO	NO	NO
6. Producción de zinc	NO								NA	NA	NA	NO
7. Otros	NO	NA	NO						NO	NA	NA	NO

Cuadro A.2.1. (continuación). Resumen de emisiones del sector IPPU en 2017

CATEGORÍA DE FUENTE O SUMIDERO DE GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HFCs	PFCs	Mezclas no especificadas de HFCs y PFCs ³	SF ₆	NF ₃	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂
	(Gg)											
	(Gg)				CO ₂ equivalente (Gg)							
D. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	16,12	NA	NA						NA	NA	33,73	NA
1. Uso de lubricantes	14,55	NA	NA						NA	NA	NA	NA
2. Usos de la cera de parafina	1,57	NA	NA						NA	NA	NA	NA
3. Uso de solventes	NE	NA	NA						NA	NA	NA	NA
4. Otros	NO	NA	NA						NA	NA	33,73	NA
E. Industria de electrónicos												
1. Circuitos integrados o semiconductores						NO	NO	NO				
2. Pantalla plana tipo TFT						NO	NO	NO				
3. Células fotovoltaicas						NO	NO	NO				
4. Fluidos de transferencia térmica						NO	NO	NO				
5. Otros												
F. Uso de productos sustitutos de las SAO												
1. Refrigeración y aire acondicionado				636,43	NO							
2. Agentes espumantes				633,65	NO							
3. Protección contra incendios				NE								
4. Aerosoles				0,58								
5. Solventes				0,23								
6. Otras aplicaciones				NE								
G. Manufactura y utilización de otros productos				1,97								
1. Equipos eléctricos	NO	NO	NE				0,00			NO	NO	NO
2. SF ₆ y PFCs de otros usos de productos							0,00					
3. N ₂ O de usos de productos							NO					
4. Otros	NO	NO	NO						NO	NO	NO	NO
H. Otros	NO	NA	NA						NO	NA	5,36	NE

A.3 Sector Agricultura

Cuadro A.3.1 Resumen de emisiones del sector Agricultura en 2017

CATEGORÍA DE FUENTE O SUMIDERO DE GEI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	(Gg)			NMVOC	Carbono negro
				NO _x	CO	NE/NO		
3. Total agricultura	65,95	101,04	2,50	NE/NO	NE/NO	NE/NO	0,134	NO
A. Ganado		89,761	0,542					
1. Fermentación entérica		87,92						
a. Ganado		84,61						
Ganado de leche		14,18						
Ganado de carne		45,34						
Ganado doble propósito		25,09						
b. Búfalos de agua		0,26						
c. Ovinos		0,16						
d. Caprinos		0,07						
e. Camellos		NO						
f. Caballos		2,3						
g. Mulass y asnos		0,05						
h. Porcinos		0,47						
j. Otros		NE						
2. Gestión de estiércol		1,841	0,542					
a. Ganado		1,137	IE					
Ganado de leche		0,214	IE					
Ganado de carne		0,576	IE					
Ganado doble propósito		0,347	IE					
b. Búfalos de agua		0,0048	0,0099					
c. Ovinos		0,0061	0,0252					
d. Caprinos		0,003	0,0128					
e. Camellos		NO	NO					
f. Caballos		0,21	0,27					
g. Mulass y asnos		0,005	0,007					
h. Porcinos		0,475	0,184					
i. Aves		NO	0,033					
j. Otros		NE	NE					

CATEGORÍA DE FUENTE O SUMIDERO DE GEI	(Gg)							Carbono negro
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC		
C. Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO ₂ de la tierra	65,95	11,282	1,958	NE	NE	NE	NE	
Ib Emisiones de quemado de biomasa en cultivos		0,789	0,0205	NE	NE	NE	NE	0,088
1c Emisiones del quemado de biomasa en pastizales		0,083	0,0076	NE	NE	NE	NE	0,046
2. Encalado	65,95							
3. Aplicación de úrea			NE					
4. Emisiones directas de N ₂ O de los suelos gestionados			1,930					
5. Emisiones indirectas de N ₂ O de los suelos gestionados			NE					
6. Emisiones indirectas de N ₂ O de la gestión del estiércol			NE					
7. Cultivo de arroz		10,41						
8. Otros	NO	NO	NO					

A.4. Sector Silvicultura y otros usos de la tierra

CATEGORÍA DE FUENTE O SUMIDERO DE GEI	CO ₂ neto Emisiones/remosiones	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	Carbono negro
3. Total FOLU	-3073,3	4,19	0,055	1,7	66,1	NO,NE	0,068
B. Tierra	-2670,9	2,35	NE,NA,NE				
1. Tierras forestales	-4280,9					NE	
a. Tierras forestales que permanecen como tales	-4161,7					NE	
b. Tierras convertidas en tierras forestales	-119,2					NE	
2. Tierras de cultivo	909,1					NE	
a. Tierras de cultivo que permanecen como tales	NE					NE	
b. Tierras convertidas en tierras forestales	909,1					NE	
3. Pastizales	700,9					NE	
a. Pastizales que permanecen como tales	NE					NE	
b. Tierras convertidas en pastizales	700,9					NE	
4. Humedales	NE	2,35	NE	NE	NO	NO	
a. Humedales que permanecen como tales	NE	NE	NO,NE			NO	
b. Tierras que permanecen como humedales	NE	2,35	NO			NO	
5. Asentamientos	NE	NO	NE			NO	
a. Asentamiento que permanecen como tales	NE	NO	NO,NA			NO	
b. Tierras convertidas en asentamientos	NE	NO	NE			NO	
6. Otras tierras	NE	NO	NE			NO	
a. Otras tierras que permanecen como tales	NE	NE	NE				
b. Tierras convertidas en otras tierras	NE	NE	NE			NO	
C. Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO₂ de la tierra	-402,4	1,84	0,055	1,7	66,1	NO	0,068
1a. Emisiones del quemado de biomasa en tierras forestales		1,84	0,05	1,7	66,1	NO	0,068
1d. Emisiones del quemado de biomasa en otras tierras		NE	NE	NE	NE	NE	NE
D.1. Productos de madera recolectada	-402,4						

A.5. Sector Residuos

Cuadro A.5.1. Datos de emisiones para la categoría 4.A en 2017.

CATEGORÍA DE FUENTE O SUMIDERO DE GEI	CO ₂ ⁽¹⁾	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC	SO ₂	Carbono negro
4. Total Residuos	69,09	94,60	0,209	NO, NE	NO, NE	NO, NE	NO, NE	0,047
A. Eliminación de residuos sólidos	NO, NA	57,37						
1. Sitios gestionados de eliminación de residuos	NA	41,77						
2. Sitios no gestionados de eliminación de residuos	NA	NO		NO	NO	NO		
3. Sitios no categorizados de eliminación de residuos	NO	15,60		NO	NO	NO		
B. Tratamiento biológico de los residuos sólidos		0,0153	0,00115					
1. Compostaje		0,0153	0,00115	NE	NE	NE		
2. Digestión anaerobia en plantas de biogas		NE	NE	NE	NE	NE		
C. Incineración e incineración abierta de residuos	69,09	0,95	0,015	NE	NE	NE	NE	
1. Incineración de residuos	NO	NO	NO	NE	NE	NE	NE	NO
2. Incineración abierta de residuos	69,09	0,95	0,015	NE	NE	NE	NE	0,047
D. Tratamiento y eliminación de aguas residuales		37,12	0,194	NE	NE	NE		
1. Aguas residuales domésticas		35,25	0,194	NE	NE	NE		
2. Aguas residuales industriales		1,87	NE	NE	NE	NE		
3. Otras		NO	NO	NO	NO	NO		
E. Otras	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Sludge spreading	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Combustión accidental	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Memo ítem:⁽²⁾								
Long-term storage of C in waste disposal sites	NE							
Annual change in total long-term C storage	NE							
Annual change in total long-term C storage in HWP waste ⁽³⁾	NE							

Anexo B: Datos de actividad

B.1. Sector Energía

Cuadro B.1.1. Consumo de energía en la categoría I.A.1

Combustible/Año	Consumo (TJ)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
I.A.1.a Producción de electricidad y calor																													
Diesel	1014,4	1241,9	6420,9	4782,5	9768,5	8318,0	5144,0	1677,0	4814,0	1857,1	403,3	1655,2	1013,5	1682,1	1369,8	2764,0	5359,7	7214,9	7261,0	4327,2	6099,8	3574,9	850,0	2689,9	2608,9	55,5	162,7	29,5	
Fuel oil	144,4	764,3	1211,4	784,6	1434,9	1241,8	993,2	593,8	385,8	358,2	52,6	22,9	44,4	203,0	125,8	371,0	1125,0	1519,0	899,2	702,4	1113,0	1764,3	6390,0	8093,0	7101,7	891,9	1519,5	349,2	
IFO 380	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2975,2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Residuos vegetales	147,0	147,0	57,0	39,0	186	242,0	162,0	172,0	63,0	60,0	230,0	767	767	88,0	419,0	483,5	544,0	515,9	909,2	1043,0	992,5	1314,9	1314,9	1247,3	1314,9	1314,9	1314,9	1314,9	
Biogas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	70,0	195,0	109,5	67,4	18,6	9,90	1,1	0,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	
Total	1305,8	2153,2	7689,3	5606,1	11390	9801,8	6299,2	2442,8	5262,8	2275,3	705,9	1908,1	1824,9	2652,1	1653,6	3749,0	7077,8	9345,3	8694,7	5948,6	8257,0	9307,5	8556,3	12099,2	10959,3	2263,7	2998,5	1695,0	
I.A.1.b Refinación de petróleo																													
Diesel	41,0	67,0	92,0	92,0	80,0	95,0	55,0	55,0	NO	NO	NO	22,0	32,0	76,0	55,0	14,0	7,4	5,0	1,5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Fuel oil	1541,0	759,0	941,0	941,0	946,0	1205,0	1188,0	1188,0	NO	NO	NO	11,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	389,7	418,6
Gasolina	NO	NO	NO	2,0	1,0	1,0	1,0	2,0	NO	NO	NO	NO	1,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
LPG	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	10,0	1,0	NO	7,0	2,9	1,6	NO	NO	3,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
IFO 380	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	642,0	856,0	909,0	832,0	762,0	1033,1	1030,6	931,2	835,2	876,6	565,8	424,4	387,2	387,2	387,2	NO	NO	
Total	1582,0	826,0	1033,0	1035,0	1027,0	1301,0	1244,0	1245,0	NO	NO	NO	675,0	893,0	986,0	887,0	783,0	1043,5	1037,2	932,8	835,2	879,5	565,8	424,4	387,2	387,2	387,2	389,7	418,6	
I.A.1.c Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía																													
Madera	910,0	883,00	855,00	374,00	382,00	390,00	398,0	406,00	414,00	422,00	430,0	474,00	474,00	483,00	112,00	106,0	118,4	129,6	135,9	96,0	110,6	85,6	94,2	101,3	124,4	150,4	118,0	73,3	
Total I.A.1	3797,8	3862,2	9577,3	7015,1	12798	11493	7941,2	4093,8	5676,8	2697,3	1135,9	3057,1	2430,9	7446,1	2652,6	4638,8	8239,7	10812,0	9763,4	6879,7	9247,3	9958,8	9074,9	12867,7	11470,8	2801,3	3506,2	2187,0	

Cuadro B.1.2. Consumo de la energía de la categoría 1.A.2

Categoría/Año	Consumo (TJ)																													
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
I.A.2.e Productos químicos																														
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	26,2	28,6	31,7	32,1	32,4	29,2	44,4	48,3	53,6	60,3	62,3	68,1	88,0		
G Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	4,2	1,6	2,6	2,7	2,9	1,5	0,2	0,0	NO	NO	NO	NO	NO		
G super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
Nafta liviana	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	3,0	3,2	3,2	2,9	2,5	2,5	3,3	2,9		
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	354,2	354,1	369,7	357,3	306,0	208,0	167,0	130,3	100,2	89,5	94,4	107,6	107,1		
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	7,4	8,2	7,6	7,6	7,0	81,0	64,4	70,8	72,3	62,5	NO	NO	NO		
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	385,8	389,1	394,1	364,0	313,9	419,1	436,4	445,9	397,0	389,6	356,3	301,5	414,6		
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	778,6	782,4	806,3	764,2	662,6	741,9	715,6	698,5	625,9	604,4	515,5	480,5	612,6		
I.A.2.d Pulpa, papel e imprenta																														
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	216,0	221,5	248,3	281,7	219,4	228,2	295,7	325,1	351,3	373,4	373,5	388,7	404,8		
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	3,6	3,9	4,3	4,4	4,4	4,0	13,5	15,7	18,4	21,7	22,4	24,5	31,7		
G Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,8	NO	NO	0,5	0,5	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	10,2	10,2	10,6	10,3	8,8	62,0	32,2	18,5	18,0	37,5	101,5	111,3	126,5		
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1,9	2,1	1,9	1,9	1,7	NO	0,3	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	96,7	97,5	98,8	91,2	78,7	360,0	304,8	339,6	407,7	368,6	337,4	344,5	338,0		
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	329,1	335,2	363,9	390,0	313,6	654,3	646,5	795,4	801,2	834,9	869,0	901,0			
I.A.2.e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco																														
Carbón Mineral	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	2236,4	3398,0	3808,9	4320,5	373,2	388,2	340,3	346,5	346,9	341,5	341,5	355,4	370,2		
Residuos vegetales	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	10797,0	11080,2	14669,9	13534,8	15246,7	14907,3	10341,1	10515,7	12379,1	12798,0	12531,1	12482,5	12053,8		
Carbón vegetal	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,055,1	1153,6	1277,3	1292,0	1305,1	1254,7	1066,6	1056,5	1060,3	1082,5	1134,9	1289,7	1455,2		
G Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1,9	0,7	1,2	1,2	1,3	0,7	NO	NO	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6		
G super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	3,6	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	30,7	12,1	12,1	18,5	21,2	18,1	23,0	30,3	15,3	NO	NO	NO	NO		
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1720,0	1719,4	1795,1	1734,7	1485,9	1591,9	1378,1	1449,5	1328,1	1321,6	1374,8	1466,0	1578,5		
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	58,0	64,6	59,5	59,8	54,5	11,9	8,7	8,7	6,3	NO	7,0	69,3	64,1		
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	3021,7	3047,2	3086,3	2850,8	2458,2	2569,4	240,9	2801,5	2417,4	2199,2	2306,3	2423,7	2421,4		
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	18920,7	20455,9	24710,2	23812,3	20946,1	20445,8	15598,9	16208,7	17743,4	17606,2	18087,2	17943,8			

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro B.1.2. (continuación). Consumo de la energía de la categoría 1.A.2

Categoría/Año	Consumo (TJ)																											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A.2.j Madera y productos de la madera																												
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	91,8	94,2	105,5	119,7	3085,7	3209,6	3299,1	3481,2	3616,3	3699,7	3700,4	3850,5	4010,6
Residuos vegetales	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2117,2	2137,4	1964,7	2054,5	1513,1	1513,1	738,0
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	56,9	62,3	68,9	69,7	70,4	63,6	66,0	67,7	71,1	75,7	78,3	85,6	110,6
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	3,3	1,3	2,1	2,2	2,3	1,2	0,1	0,0	NO	NO	NO	NO	NO
Gasolina super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,6	0,6	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	123,9	123,9	129,3	125,0	107,1	69,1	81,9	85,8	76,8	76,4	85,2	97,3	98,1
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,9	1,0	0,9	0,9	0,8	NO	NO	0,1	0,1	NO	NO	NO	NO
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	45,4	45,8	46,4	42,8	36,9	14,2	21,2	14,4	16,9	20,0	27,6	22,2	32,7
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	322,9	329,0	353,2	360,3	3303,2	3357,6	5585,5	5786,6	5745,8	5926,5	5404,6	5568,7	4990,0
1.A.2.k Construcción																												
Diesel	65,8	68,1	73,0	101,0	120,0	65,0	65,0	32,0	97,0	143,0	167,0	183,8	130,0	133,4	387,0	641,1	741,1	1057,3	1272,3	1386,4	451,8	579,5	563,3	651,7	897,4	889,9	871,4	935,6
Gasóleo	17,3	3,7	3,4	0,3	0,6	13,2	22,4	46,7	56,7	86,6	109,7	94,2	89,9	97,3	89,1	77,2	72,9	130,1	160,4	148,1	115,4	124,4	129,0	104,8	135,1	191,4	194,2	271,3
Fuel oil	66,7	63,5	60,3	53,0	78,0	70,0	48,0	43,0	33,0	31,0	34,0	37,0	40,0	43,0	46,0	39,6	34,7	25,7	25,9	121,6	31,2	26,8	19,2	4,2	0,0	10,9	33,8	18,1
Total	149,8	135,3	136,7	154,3	198,6	148,2	135,4	141,7	186,7	260,6	310,7	315,0	259,9	273,7	522,1	757,9	848,7	1213,1	1458,6	1656,0	598,5	730,7	711,4	760,7	1032,5	1092,2	1099,3	1224,9
1.A.2.l Textiles y cuero																												
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	97,8	107,0	118,4	119,8	121,0	109,2	56,5	46,5	37,1	27,0	27,9	30,5	39,4
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	36,5	14,4	23,0	23,6	25,1	13,4	1,0	0,3	NO	NO	NO	NO	NO
Gasolina super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	6,7	6,2	5,1	4,5	4,8	0,9	0,1	0,03	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1,2	NO	NO	NO	0,9	0,7	0,9	1,2	0,6	NO	NO	NO	NO
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	537,2	537,0	560,7	541,8	464,1	323,5	365,6	381,3	343,7	342,1	377,9	428,1	429,9
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	7,2	8,0	7,4	7,4	6,8	14,3	49,8	66,4	97,8	78,0	52,0	26,8	37,1
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	374,9	378,1	382,9	353,7	305,0	224,8	180,6	147,5	119,7	106,7	115,9	109,2	105,5
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1061,6	1050,7	1097,5	1050,8	927,6	686,8	654,5	643,4	598,9	553,9	573,7	594,7	612,0

Cuadro B.1.2. (continuación). Consumo de la energía de la categoría 1.A.2

Categoría/Año	Consumo (TJ)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
1.A.2.m Industria no especificada																													
Carbon Mineral	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	45.4	59.2	632.2	17.0	109.5	29.9	229.2	91.9	204.3	248.1	14.0	13.5	214.0
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	90.0	92.3	103.5	117.4	91.4	95.1	135.1	150.5	164.7	177.0	177.1	184.3	191.9
Residuos vegetales	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	127.0	282.6	144.3	198.1	189.1	256.1	297.8
Coque	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1445.6	1664.7	2807.1	3411.3	2882.3	2675.4	3717.9	3382.8	3359.3	3288.3	3211.7	3494.0	3786.5
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	482.4	527.4	584.0	590.7	596.7	831.5	1120.1	1206.6	1336.5	1478.5	1528.9	1606.2	1498.3
G regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0.9	NO	0.6	0.6	0.6	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	2.9	1.1	1.1	1.8	2.0	1.7	45.8	106.4	123.2	141.8	164.8	157.1	150.1
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	581.5	581.3	606.9	586.5	502.3	621.4	605.1	586.8	522.2	466.5	472.4	500.6	486.8
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	36.2	40.3	37.1	37.4	34.0	7.4	5.4	5.4	3.9	NO	NO	NO	NO
IFO 380	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1887.2	1903.1	1927.5	1780.4	1535.3	1228.9	1213.6	1074.8	984.2	887.6	839.5	873.3	1067.8
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	4572.1	4869.6	6700.0	6543.0	5754.2	5491.3	7199.3	6887.8	6842.6	6885.9	6977.6	7085.0	7693.1
TOTALES 1.A.2																													
LPG	277.0	314.0	376.0	374.0	434.0	516.0	578.0	622.0	652.0	763.0	937.0	972.3	1008.0	1044.4	1528.0	1722.0	1882.8	2084.6	2108.7	2130.1	2292.2	2367.2	2441.3	2577.0	2745.7	2854.8	3104.8	3223.1	
G regular	74.0	77.0	72.0	67.0	65.0	62.0	60.0	58.0	46.0	47.0	48.0	51.3	50.0	49.0	49.0	47.6	18.1	29.5	30.8	32.7	16.8	1.3	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
G super	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	7.5	5.6	5.0	5.3	4.5	0.1	0.0	0.0	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	87.0	90.8	62.4	71.7	77.5	84.8	93.0	85.9	95.9	44.0	42.4	39.2	34.5	13.9	45.9	34.8	13.2	13.2	20.3	24.0	23.6	73.0	141.1	142.0	144.4	167.4	160.3	153.0	
Diesel	985.9	1020.1	1094.7	1240.0	1304.0	1220.0	1428.0	1428.0	1502.0	1725.0	1838.8	1898.6	2112.0	2174.1	2652.0	3968.2	4066.9	4529.7	4627.8	4560.6	3327.8	3209.5	3215.4	3040.6	3231.1	3396.1	3582.4	3762.5	
Gasóleo	44.4	9.4	8.7	0.7	1.6	34.0	57.7	120.2	145.8	222.8	282.3	242.5	231.2	250.4	229.2	188.8	197.1	244.4	275.5	252.9	230.0	253.1	280.4	285.2	275.6	250.4	290.3	372.5	
Fuel oil	6197.3	5894.5	6539.2	7077.5	6848.4	7000.7	6498.2	7225.2	7737.0	8053.3	8256.6	6793.9	5500.3	5424.5	5566.5	5851.4	5895.5	5961.7	5508.8	4849.6	4847.6	4624.3	4842.9	4347.1	3971.7	3993.9	4108.1	4398.1	
Madera	2572.3	2643.0	2985.0	2746.0	2853.0	2992.0	2964.1	2936.4	2999.1	2881.9	2855.0	2828.4	2802.0	2775.9	2750.0	2634.2	3806.0	4266.2	4839.2	3769.7	3921.1	4070.3	4303.4	4479.2	4591.7	4592.5	4778.8	4977.5	
Carbon Mineral	3.0	NO	NO	1.0	1.0	2.0	2.0	4.0	9.0	7.0	15.0	1292.0	21.0	931.0	39.0	45.4	59.2	632.2	17.0	109.5	29.9	229.2	91.9	204.3	248.1	14.0	13.5	214.0	
Residuos vegetales	6493.4	6995.4	7564.8	7914.5	7899.7	8686.4	9263.5	8787.8	9855.5	1002.2	9666.7	9789.1	9219.7	9733.9	10953.2	10797.0	11060.2	14669.9	13534.8	15246.7	14607.3	12585.3	12935.6	14488.1	15050.6	14233.3	14251.7	13089.6	
Coque	7.0	4.0	6.0	7.0	6.0	6.0	315.0	5.0	5.0	5.0	2.0	6.0	750.0	2063.5	1624.0	1445.6	1664.7	2807.1	3411.3	2882.3	2675.4	3717.9	3382.8	3359.3	3288.3	3211.7	3494.0	3786.5	
TOTAL 1.A.2	16741.5	17048.2	18708.7	19499.5	19490.3	20602.8	21051.8	21270.5	22857.3	23753.2	23945.8	23917.4	21733.8	24466.5	25443.8	26742.8	28671.4	35244.2	34379.2	33563.4	31976.1	31131.0	31635.4	32923.1	33547.8	32714.7	33784.5	33977.3	

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDERO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro B.1.3. Consumo de la energía de la categoría I.A.3

Categoría/Año	Consumo (TJ)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
I.A.3b Transporte terrestre																													
I.A.3bi. Automóviles y carros para pasajeros																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1963	2157	2364	2408	2387	2314	4377	4835	5236	5295	5567	5921	6015	
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	12495	13287	13879	13723	13576	14111	14308	14586	14855	14747	15241	15413	15520	
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	8990	8130	8629	9596	10826	11604	10888	11533	11400	12147	13949	16090	16706	
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	129	185	296	319	313	326	214	240	213	252	268	229	298	
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	23577	23759	25168	26047	27102	28355	29787	31163	31703	32441	35025	37653	38540	
I.A.3bii. Camiones para servicio ligero																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	10064	11057	12121	12345	12239	11864	9931	9590	9120	9224	9703	10325	10492	
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	323	292	310	345	389	416	883	1057	1173	1251	1436	1657	1720	
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1164	1238	1293	1279	1265	1324	2710	3028	3368	3343	3453	3494	3517	
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	119	149	236	292	314	229	298	
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	11552	12587	13724	13969	13893	13604	13643	13824	13897	14110	14907	15705	16027	
I.A.3biii. Camiones para servicio pesado y autobuses																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	10211	11218	12297	12525	12417	13855	15861	16448	17142	17538	18431	19625	19818	
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	8	NO	12	13	15	18	18	
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	10211	11218	12297	12525	12417	13855	15861	16448	17154	17552	18446	19643	19836	
I.A.3biv. Motocicletas																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	286	258	274	305	344	368	1228	1518	1731	1845	2119	2444	2538	
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	2882	3064	3201	3165	3131	3254	1745	1464	1181	1173	1212	1225	1234	
Acetate dos tiempos	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	3	3	4	
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	3171	3326	3479	3475	3479	3626	2976	2987	2916	3022	3334	3673	3776	
Total I.A.3b																													
Diesel	12289	12548	13486	14241	15277	15732	16190	17019	18359	19244	18887	19268	20738	20961	21975	22239	24432	26782	27278	27043	28033	30161	30873	31498	32058	33702	35871	36326	
Gasolina Super	1218	803	1409	3126	5693	7504	8722	9193	11629	12799	10072	10010	11244	11308	11229	9599	8681	9214	10247	11560	12387	13007	14107	14316	15257	17519	20209	20983	
Gasolina Regular	7742	8510	9888	10524	10680	10351	9769	9783	9784	10399	13402	14718	15181	15066	15529	16541	17590	18373	18167	17971	18689	18762	19049	19403	19263	19906	20132	20271	
Acetate dos tiempos	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	3	3	4	
LPG	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	102	119	129	185	296	319	313	326	333	388	449	544	582	459	595	
Etanol en gasolina	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	54	52	78	74	23	2	NO	NO	NO	NO	NO	
Total	21252	21863	24785	27893	31654	33590	34684	35999	39776	42446	42565	44001	47167	47441	48855	48511	50891	54668	56015	56890	59439	62267	64422	65671	67125	71712	76674	78179	

Cuadro B.1.3. (continuación). Consumo de la energía de la categoría 1.A.3

Categoría/Año	Consumo (TJ)																											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.A3ei Transporte todo terreno																												
Diesel	1717	1753	1884	1990	2134	2198	2262	2378	2565	2689	2639	2692	2897	2929	3073	3110	3417	3745	3815	3782	3666	2318	2052	1755	1866	1985	2017	
Gasolina Super	2	1	2	5	9	12	14	14	18	20	16	15	17	18	17	15	13	14	16	18	19	188	241	283	302	346	400	415
Gasolina Regular	80	88	102	109	110	107	101	101	101	107	139	152	157	156	161	171	182	190	188	186	193	55	28	NO	NO	NO	NO	NO
Total 1.A3ei	1799	1842	1989	2103	2254	2317	2376	2493	2684	2816	2793	2860	3072	3102	3251	3296	3612	3950	4018	3986	3878	2562	2321	2038	2077	2213	2384	2431
1.A3e Ferrocarril																												
Diesel	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	20	22	24	26	27	27	46	51	57	64	64	64	64	62
1.A3d Transporte marítimo																												
Diesel	51	52	56	59	64	65	67	71	76	80	79	80	86	87	91	93	102	111	114	113	85	84	56	90	78	91	58	65
Keroseno	6	6	6	3	2	2	4	6	6	7	6	5	5	4	2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gasolina regular	194	214	248	264	268	260	245	245	246	261	336	369	381	378	390	415	441	461	456	451	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	252	272	310	326	334	327	316	322	328	348	420	455	472	469	483	508	543	573	569	564	85	84	56	90	78	91	58	65
1.A3a ii Transporte aéreo Nacional																												
Gasolina de avión	123	147	170	199	198	183	173	155	159	149	140	113	124	112	112	98	85	70	66	63	58	63	54	52	49	48	49	53
Jet fuel	91	102	145	180	181	201	203	222	250	253	248	211	235	296	398	493	486	466	520	521	654	691	490	476	474	539	562	576
Total	214	249	315	379	378	385	376	377	408	403	388	324	359	408	510	591	571	535	586	584	713	754	544	528	522	588	611	630
1.A3 Transporte																												
Diesel	14057	14353	15426	16290	17475	17996	18519	19468	21000	22012	21604	22040	23722	23977	25159	25463	27974	30665	31234	30964	31829	32614	33037	33410	33975	35724	37978	38469
Gasolina Super	1220	804	1411	3131	5702	7516	8736	9207	11647	12819	10088	10026	11261	11326	11246	9614	8694	9228	10262	11578	12407	13196	14349	14599	15559	17865	20608	21397
Gasolina Regular	8017	8811	10239	10897	11060	10718	10116	10130	10131	10767	13877	15240	15719	15599	16079	17127	18213	19024	18811	18608	18883	18817	19076	19403	19263	19906	20332	20271
Acetite dos tiempos	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	3	3	4
LPG	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	102	119	185	296	319	313	326	333	388	449	544	582	459	595
Etanol en gasolina	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	54	52	78	74	23	2	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	6	6	6	3	2	2	4	6	6	7	6	5	5	4	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gasolina de avión	123	147	170	199	198	183	173	155	159	149	140	113	124	112	112	98	85	70	66	63	58	63	54	52	49	48	49	53
Jet fuel	91	102	145	180	181	201	203	222	250	253	248	211	235	296	398	493	486	466	520	521	654	691	490	476	474	539	562	576
Total	23516	24226	27399	30703	34619	36619	37753	39191	43196	46012	45966	47639	51070	51420	53119	52927	55641	59806	61269	62128	64235	65741	67402	68395	69867	74668	79791	81367

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro B.1.4. Consumo de la energía de la categoría I.A.4

Categoría/Año	Consumo (TJ)																													
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
IA4 OTROS SECTORES																														
I.A.4.a Comercial/Institucional/Servicios																														
Servicios																														
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	698.0	829.8	972.5	1127.6	859.8	895.7	931.5	969.3	998.8	1043.4	1081.9	1126.0	1172.2	
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	756.0	745.5	771.9	782.2	615.0	768.6	779.1	793.6	638.4	674.2	695.4	755.4	891.8	
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	22.8	10.7	14.9	12.5	21.9	13.0	3.4	2.0	0.8	0.3	0.6	1.2	2.0	
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	13.8	4.2	2.9	0.5	0.4	0.6	1.2	2.8	
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	472.9	399.8	391.4	379.4	324.7	434.8	250.0	141.8	196.2	162.9	205.3	267.7	261.3	
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	7.6	8.1	7.1	7.2	6.7	3.5	4.0	7.7	2.2	4.1	4.1	4.0	2.3	
Comercial																														
Madera	177.5	166.6	154.9	143.1	131.0	118.0	104.0	123.7	144.1	165.4	187.4	210.0	325.6	445.6	569.7	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Carbon vegetal	10.0	10.0	9.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
LPG	328.6	275.2	288.9	356.2	437.9	505.7	588.1	596.9	748.3	987.0	871.9	723.1	923.1	934.0	636.6	41.0	40.4	41.9	42.4	33.4	41.7	42.2	43.0	232.6	245.7	253.4	275.2	324.9		
Gasolina Regular	30.0	31.0	25.0	19.0	19.0	18.0	18.0	20.0	21.0	21.0	22.0	23.5	25.0	27.2	26.0	1.9	0.9	1.2	1.0	1.8	2.0	1.3	0.5	1.1	0.1	NO	NO	0.5	0.8	
Gasolina Super	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1.1	0.3	0.2	0.2	NO	NO	0.5	1.1	
Keroseno	186.7	183.7	184.3	189.3	177.6	160.0	146.0	193.4	181.8	209.8	181.9	168.2	171.6	117.4	53.3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Diesel	278.0	513.6	531.4	537.0	560.0	582.0	731.0	780.0	846.0	984.0	1336.0	1470.2	1142.0	1175.9	995.0	376.8	318.6	311.9	302.3	258.7	221.8	102.3	78.2	24.1	21.4	23.9	27.3	27.5		
Fuel oil	NO	NO	NO	NO	NO	33.0	32.0	31.0	30.0	32.0	28.0	24.0	20.0	16.0	12.0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Público																														
Diesel	118.0	86.0	89.3	141.0	100.0	97.0	108.0	112.0	125.0	103.0	94.0	103.4	129.0	133.3	107.0	105.1	110.3	108.0	104.3	93.5	79.1	65.8	87.5	77.7	66.7	73.4	62.1	60.4		
Fuel oil	244.0	232.0	219.0	238.0	202.0	190.0	195.0	188.0	189.0	240.0	167.0	138.9	113.0	114.7	176.0	147.8	147.9	141.4	165.2	190.4	179.8	142.7	188.2	179.2	208.0	200.9	175.2	190.6		
Totales I.A.4.a																														
Madera	177.5	166.6	154.9	143.1	131.0	118.0	104.0	123.7	144.1	165.4	187.4	210.0	325.6	445.6	569.7	698.0	829.8	972.5	1127.6	859.8	895.7	931.5	969.3	998.8	1043.4	1081.9	1126.0	1172.2		
LPG	328.6	275.2	288.9	356.2	437.9	505.7	588.1	596.9	748.3	987.0	871.9	723.1	923.1	934.0	636.6	797.0	786.0	813.7	824.6	648.4	810.3	821.4	836.6	871.0	919.9	948.8	1030.6	1216.8		
Gasolina Regular	30.0	31.0	25.0	19.0	19.0	18.0	18.0	20.0	21.0	21.0	22.0	23.5	25.0	27.2	26.0	24.7	11.6	16.1	13.5	23.7	15.1	4.7	2.6	1.9	0.5	0.6	1.7	2.9		
Gasolina Super	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	14.9	4.6	3.1	0.6	0.6	1.7	3.9		
Diesel	396.0	599.6	620.6	678.0	660.0	679.0	839.0	892.0	971.0	1087.0	1430.0	1573.7	1271.0	1309.2	1102.0	954.7	838.7	811.2	786.0	676.9	735.6	418.1	307.5	298.0	251.1	302.6	357.1	349.3		
Fuel oil	244.0	232.0	219.0	238.0	202.0	190.0	195.0	188.0	189.0	240.0	167.0	138.9	113.0	114.7	176.0	147.8	147.9	141.4	165.2	190.4	179.8	142.7	188.2	179.2	208.0	200.9	175.2	190.6		
Keroseno	186.7	183.7	184.3	189.3	177.6	160.0	146.0	193.4	181.8	209.8	181.9	168.2	171.6	117.4	53.3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Carbon vegetal	10.0	10.0	9.0	4.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	1372.8	1498.1	1501.7	1627.6	1631.6	1708.7	1926.1	2048.0	2289.2	2747.2	2893.2	2866.4	2854.4	2852.0	2629.7	2612.1	2762.1	2924.1	2405.9	2655.0	2327.1	2315.0	2351.8	2427.6	2539.5	2696.4	2937.9			

Cuadro B.1.4. (continuación). Consumo de la energía de la categoría I.A.4

Categoría	Consumo (TJ)																														
	Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
I.A.4.b Residencial																															
Urbano																															
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1304,0	3080,2	2155,6	1958,3	1619,0	1514,4	865,2	688,3	757,9	985,4	1221,1	952,9	998,2		
Carbon Vegetal	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	24,6	38,4	41,9	44,0	31,4	36,0	26,7	30,1	33,1	43,1	53,4	41,6	43,6		
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	914,9	894,8	927,2	945,8	966,5	1003,1	1347,8	1455,4	1553,1	1692,0	1773,8	2006,2	2026,3		
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	11,0	12,7	18,3	20,1	22,7	18,1	23,9	14,2	14,2	16,7	15,1	14,6		
Rural																															
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	10550,2	11260	9327,8	8343,9	7025,1	7666,9	6972,6	6200,9	5823,9	4446,0	3930,1	3313,1	3063,3		
Biogas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Carbon Vegetal	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	15,5	6,4	7,1	7,4	4,9	5,8	5,7	5,5	5,2	4,0	3,5	2,9	2,7		
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	955,2	867,6	899,0	917,1	937,2	972,6	672,9	627,1	669,2	729,1	764,4	864,5	873,2		
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	44,9	37,4	43,3	62,6	68,7	77,5	38,7	47,2	27,9	28,0	32,9	29,7	28,8		
Totales I.A.4.b																															
Madera	9836,8	8959,2	8081,6	7203,8	7297,4	7392,2	7488,3	7585,6	7684,1	7784,0	7885,1	7987,5	8816,1	9730,6	10740,0	11854,1	14206,2	11481,4	10302,2	8644,0	9181,4	7837,8	6889,2	6581,8	5431,4	5151,2	4266,0	4061,5			
Carbon Vegetal	290,0	236,0	181,0	126,2	103,0	84,1	68,6	56,0	45,7	37,3	30,4	24,8	28,0	31,5	35,6	40,1	44,7	49,0	51,4	36,3	41,8	32,3	35,6	38,3	47,0	56,8	44,6	46,3			
LPG	584,4	602,4	620,9	640,5	733,1	839,2	960,6	1099,6	1258,6	1440,7	1649,2	1887,7	1965,4	2046,2	2130,3	1870,1	1762,4	1826,2	1863,0	1903,6	1975,7	2020,7	2082,5	2222,3	2421,0	2538,2	2870,7	2899,5			
Gasolina regular	7,0	7,0	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	5,0	5,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Keroseno	95,4	94,9	94,7	91,3	82,8	76,0	70,0	70,0	100,3	92,9	108,9	93,4	86,7	90,0	61,3	60,8	44,9	48,4	56,0	80,9	88,8	100,2	56,8	71,1	42,1	42,2	49,5	44,8	43,4		
Biogas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Total	10813,7	9899,5	8985,2	8067,8	8222,4	8397,5	8593,5	8846,5	9086,4	9375,9	9662,1	9990,8	10902,5	11872,6	12968,7	13809,2	13412,6	12297,5	12297,5	11299,1	9950,7	9081,4	8887,5	7944,7	7798,8	7229,2	7053,8				
I.A.4.c Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías																															
Gasolina Regular	236,0	245,0	238,0	232,0	225,0	301,0	337,0	343,0	348,0	354,0	360,0	365,0	371,0	376,0	382,0	394,2	401,4	365,7	219,2	219,1	223,8	247,4	236,0	252,3	261,4	224,8	285,7	290,2			
Keroseno	6,0	6,0	6,0	3,0	2,0	2,0	5,0	7,0	7,0	7,0	6,7	6,9	7,0	5,1	10,0	2,3	2,5	2,9	4,2	4,6	5,0	34,5	70,6	73,1	74,5	86,6	82,5	78,9			
Diesel	881,3	911,8	978,5	1039,3	1109,6	1155,6	1174,6	1243,6	1339,9	1417,0	1419,8	1456,3	1547,2	1567,5	1591,1	1709,9	1746,0	1532,5	1379,6	1316,4	1390,7	1569,4	1653,4	1651,6	1654,6	1708,6	1876,5	1986,7			
Fuel oil	82,0	74,0	79,0	72,0	80,0	87,0	89,0	89,0	73,0	74,0	74,0	61,6	50,0	51,2	28,0	14,6	11,4	15,8	7,4	5,1	6,7	5,8	NO	NO	NO	NO	NO	NO			
Total	1205,3	1236,8	1301,5	1346,3	1416,6	1525,6	1603,6	1682,6	1767,9	1852,0	1860,5	1889,8	1975,2	1999,8	2011,1	2121,0	2161,3	1916,9	1610,4	1545,2	1626,3	1857,1	1959,9	1976,9	1990,5	2020,0	2244,8	2355,8			

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro B.1.4. (continuación). Consumo de la energía de la categoría 1.A.4

Categoría /Año	Consumo (TJ)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Totales 1.A.4	10014.3	9125.8	8236.5	7346.9	7428.4	7510.2	7592.3	7709.2	7828.2	7949.4	8072.5	8197.5	9141.8	10176.2	11309.7	12532.1	13036.0	12453.9	11429.8	9503.9	10077.1	8769.3	7888.5	7806.6	6474.8	6233.2	5392.1	5233.7	
Madera	913.0	877.6	909.8	996.7	1171.1	1344.8	1548.7	1696.4	2006.9	2427.8	2521.0	2610.8	2888.5	2980.1	2766.9	2667.1	2548.4	2640.0	2687.6	2552.0	2786.0	2842.1	2919.1	3093.3	3341.0	3486.9	3901.3	4116.3	
Gasolina Regular	273.0	283.0	270.0	257.0	250.0	326.0	361.0	366.0	373.0	380.0	386.0	392.5	399.0	406.2	410.0	418.8	413.0	381.8	332.7	242.7	238.9	252.1	238.5	254.2	261.8	225.3	287.5	293.1	
Gasolina Super	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	4.6	3.1	0.6	0.6	0.6	0.6	1.7	3.9
Diesel	1277.3	1511.3	1599.1	1717.3	1769.6	1814.6	2013.6	2135.6	2310.9	2504.0	2849.8	3030.0	2818.2	2876.7	2693.1	2664.6	2574.7	2343.7	2165.6	1993.3	2126.4	1987.5	1960.9	1949.6	1905.6	2011.2	2233.7	2336.0	
Fuel oil	326.0	306.0	298.0	310.0	282.0	310.0	314.0	308.0	292.0	346.0	269.0	224.5	183.0	181.8	216.0	170.0	167.4	164.4	179.8	202.3	190.1	152.5	196.0	181.5	212.1	205.0	179.2	192.9	
Kerosen	288.1	284.5	284.9	283.6	262.5	238.1	221.0	300.8	281.8	325.7	282.0	261.9	268.6	66.4	124.1	47.3	50.9	58.9	85.1	93.4	105.2	91.3	141.6	115.2	116.7	136.1	127.4	122.2	
Carbón vegetal	300.0	246.0	190.0	130.2	107.0	88.1	72.6	61.0	50.7	42.3	35.4	29.8	33.0	36.9	35.6	40.1	44.7	49.0	51.4	36.3	41.8	32.3	35.6	38.3	47.0	56.8	44.6	46.3	
Biogas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Total	13391.7	12684.3	11788.4	11041.8	11270.7	11631.9	12123.2	12577.0	13143.5	13975.2	14415.8	14747.1	15732.0	16734.4	17555.4	18559.9	20852.2	18091.6	16832.0	14623.9	15580.4	14134.8	13386.3	13216.3	12562.7	12388.3	12170.4	12347.4	

Cuadro B.1.5. Datos de actividad utilizados en la categoría 1.B.2.a

Importación de petróleo (TJ)	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
		17592.0	14693.0	23206.0	23803.0	23042.0	30286.0	26152.0	26333.0	1645.0	NO	1946.0	11423	20032.0	22016.0	22051.0	22603.8	28078.7	30074.1	26696.9	16984.7	21180.7	21180.7	21180.7	21180.7	21180.7	21180.7	21180.7

Cuadro B.1.6. Datos de actividad de la categoría 1.B.3

Generación	Generación (GWh)																							
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Generación Flash	341.8	468.2	510.0	544.0	591.8	803.9	976.5	986.3	1120.7	1144.2	1084.0	1032.9	1105.7	1145.1	1023.3	1075.9	1060.1	1024.3	979.6	1079.5	1115.8	948.1	961.5	753.5
Generación Binaria	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	157.7	327.3	334.16	332.9	321.7	314.4
Total	341.8	468.2	510.0	544.0	591.8	803.9	976.5	986.3	1120.7	1144.2	1084.0	1032.9	1105.7	1145.1	1023.3	1075.9	1060.1	1182.1	1306.9	1413.7	1462.9	1280.9	1283.2	1067.8

Cuadro B.1.7. Datos de actividad en Tj para estimar las emisiones de CO₂ biogénico en el sector energía

Tipo de biomasa consumida por categoría de fuente de GEI	Consumo de biomasa (Tj)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
I.A.1. Industrias de la energía																													
Residuos vegetales	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	80,0	87,3	95,1	91,4	107,6	107,1	109,1	118,4	118,4	118,4	118,4	118,4	118,39
Bagazo	147,0	147,0	57,0	39,0	186,0	242,0	162,0	172,0	63,0	60,0	250,0	230,0	767,0	767,0	88,0	339,5	396,3	448,9	424,5	801,6	936,1	883,4	1196,5	1196,5	1128,9	1196,5	1196,5	1196,46	
Boguis	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	70,0	195,3	109,5	67,4	18,6	9,9	1,1	0,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,43
Madera (Usada en I.A.1c)	774,2	751,2	727,4	318,2	325,0	331,8	338,6	345,4	352,2	359,0	365,8	403,3	403,3	410,9	95,3	90,2	100,7	110,3	115,6	81,7	94,1	72,8	80,1	86,2	105,8	128,0	100,4	62,40	
I.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción																													
Residuos vegetales	1141,0	1219,0	1325,3	1351,9	1340,8	1582,8	1708,5	1859,9	1766,1	1603,6	2278,3	2322,9	1591,3	2127,0	2254,7	2416,2	2434,7	4991,4	5381,9	5632,0	4771,0	2720,4	4846,6	4623,2	4732,3	4160,9	4179,4	3730,4	
Bagazo	5352,4	5776,4	6239,5	6562,6	6558,9	7103,5	7555,0	6927,9	8089,4	8063,0	7388,4	7466,2	7628,4	7606,9	8698,5	8380,8	8625,6	9678,5	8152,9	9614,7	9836,3	9864,9	8088,9	9864,9	10318,3	10072,4	10072,4	9359,2	
Madera	2188,5	2248,6	2539,6	2336,2	2427,3	2545,5	2521,8	2498,3	2475,0	2429,0	2429,0	2406,3	2383,9	2361,7	2339,6	2241,1	3238,1	3629,6	4117,1	3207,2	3336,0	3462,9	3661,3	3810,8	3906,5	3907,2	4065,7	4234,7	
I.A.3. Transporte																													
Bioetanol	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	72,4	53,5	52,2	78,1	73,6	23,0	2,0	NO	NO	NO	NO	NO	
I.A.4. Otros sectores																													
Madera	8520,0	7764,0	7007,4	6250,6	6320,0	6389,6	6459,3	6558,8	6660,1	6867,9	6974,3	7777,6	8657,7	9622,1	10679,1	12792,3	10595,5	9724,2	8085,7	8573,3	7460,7	6685,8	6449,4	5508,6	5303,1	4587,5	4452,7		
Carbón vegetal	300,0	246,0	190,0	130,2	107,0	88,1	72,6	61,0	50,7	35,4	29,8	35,4	33,0	36,9	35,6	40,1	44,7	49,0	51,4	36,3	41,8	29,7	35,6	38,3	47,0	56,8	44,6	46,3	
Boguis	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	5,7	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0

B.2. Sector Procesos Industriales y Uso de Productos**Cuadro B.2.1.1. Datos de actividad para la categoría 2.A.4b**

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo Na ₂ CO ₃ (ton)	910,8	750,4	1062,4	1165,2	1119,8	623,6	781,7	360,8	81,4	630,0	1655,0	254,8	NO	5081,6	9215,9	9081,2	2953,8	NO	6165,3	11708,7	4595,9	8578,4	11081,4	9878,0	3101,6	8259,2	5489,0	9990,3

Cuadro B.2.2. Datos de actividad para la categoría 2.B.2

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Producción de HNO ₃ (ton)	70800,0	62175,4	82813,0	71996,1	60477,7	76568,9	90507,8

Cuadro B.2.3. Datos de actividad para la categoría 2.B.5

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo CaC ₂ (ton)	260,2	266,4	272,3	278,2	286,3	333,0	553,4	663,2	477,4	628,9	418,0	431,2	390,5	239,3	281,3	315,2	212,2	342,4	277,1	252,6	349,4	335,2	227,7	217,4	249,4	310,5	253,4	306,8

Cuadro B.2.4. Datos de actividad para la categoría 2.D.1

Lubrificante	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Grasas (ton)	84,1	86,5	88,9	91,3	93,7	96,0	98,4	114,9	132,5	114,0	135,4	107,7	118,7	126,3	138,3	146,8	94,4	83,1	92,5	91,3	74,2	93,4	56,6	102,9	128,0	313,6	211,6	202,2
Aceites (ton)	13781	14171	14561	14951	15340	15730	16120	18729	23012	23712	22574	15673	17694	20700	22811	22487	23713	24298	22514	21226	21892	21354	21720	22828	23052	23204	25057	24626

Cuadro B.2.5. Datos de actividad para la categoría 2.D.2

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo Parafinas (ton)	1666	1706	1744	1782	1834	1886	1937	1986	2035	2083	2130	2175	2213	2248	2284	2319	2354	2388	2693	2701	2539	1926	1989	2746	2805	2935	2831	2656

Cuadro B.2.8. Dato de actividad para la categoría 2.F.4

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-152a (ton)	0,766	0,517	1,237	0,899	0,693	0,958	0,571	0,008	0,678	2,620	3,121	1,557	3,226	NO

Cuadro B.2.9. Datos de actividad para la categoría 2.F.6

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-152a (ton)	18,658	12,581	30,132	21,895	16,887	23,343	13,907	0,190	22,492	50,203	16,174	34,289	14,652	13,551

Cuadro B.2.10. Datos de actividad para la categoría 2.G.1b

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Uso de SF ₆ (kg)	0,628	0,703	0,894	0,876	0,889	0,884	0,869	1,016	0,980	1,119	1,253	1,221	1,363	1,349	1,487	1,496	1,575	1,639	1,715	1,686	1,735	1,742	1,752	1,754	1,243	1,936	1,362	0,392

B.3 Sector residuos

Cuadro B.3.1 Residuos sólidos municipales utilizados en la estimación de emisiones de la categoría 4.A

Componente	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Papel/cartón (Gg)	54,6	59,7	65,0	70,8	77,0	83,4	89,9	96,7	103,6	110,7	117,8	125,0	132,0	139,1	146,3	153,7	161,2	162,9	164,5	166,0	167,3	168,5	169,1	169,5	170,4	169,0	167,5	165,9
Textil (Gg)	11,7	12,8	13,9	15,2	16,5	17,9	19,3	20,7	22,2	23,7	25,3	26,8	28,3	29,8	31,4	32,9	34,5	34,9	35,2	35,6	35,8	36,1	36,2	36,3	36,5	36,2	35,9	35,6
Desechos Alimentos (Gg)	156,1	170,6	185,8	202,4	220,0	238,3	257,0	276,2	295,9	316,1	336,7	357,1	377,1	397,4	418,1	439,1	460,5	465,3	470,0	474,2	477,9	481,3	483,1	484,3	486,8	482,9	478,7	474,1
Madera (Gg)	7,8	8,5	9,3	10,1	11,0	11,9	12,8	13,8	14,8	15,8	16,8	17,9	18,9	19,9	20,9	22,0	23,0	23,3	23,5	23,7	23,9	24,1	24,2	24,2	24,3	24,1	23,9	23,7
Jardín (Gg)	15,6	17,1	18,6	20,2	22,0	23,8	25,7	27,6	29,6	31,6	33,7	35,7	37,7	39,7	41,8	43,9	46,1	46,5	47,0	47,4	47,8	48,1	48,3	48,4	48,7	48,3	47,9	47,4
Desechos sanitarios (*) (Gg)	31,2	34,1	37,2	40,5	44,0	47,7	51,4	55,2	59,2	63,2	67,3	71,4	75,4	79,5	83,6	87,8	92,1	93,1	94,0	94,8	95,6	96,3	96,6	96,9	97,4	96,6	95,7	94,8
Plástico (Gg)	113,2	123,7	134,7	146,7	159,5	172,7	186,3	200,2	214,5	229,2	244,1	258,9	273,4	288,1	303,1	318,4	333,9	337,4	340,7	343,8	346,5	349,0	350,2	351,1	352,9	350,1	347,0	343,7

Cuadro B.3.2 Residuos sólidos industriales utilizados en la estimación de las emisiones de la categoría 4.A

Componente	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Residuos industriales (Gg)	126,7	138,4	150,7	164,2	178,5	193,3	208,5	224,0	240,1	256,5	273,1	289,7	305,9	322,4	339,2	356,2	373,6	377,5	381,3	384,7	387,7	390,5	391,9	392,9	394,9	391,8	388,3	384,6

Cuadro B.3.3 Residuos orgánicos procesados durante la fabricación de compost (4.B)

Año	Residuos orgánicos procesados por Municipalidad (ton)	
	Jimenez	Pérez Zeledón
2006	384	
2007	384	
2008	384	
2009	384	
2010	384	
2011	384	
2012	384	
2013	384	
2014	384	960,88
2015	384	2024,44
2016	384	2570,42
2017	384	3286,88

Cuadro B.3.4 Cantidad de residuos incinerados a cielo abierto (4.C).

Año	Papel/cartón		Textil		Desechos Alimentos		Madera		Jardín		Desechos sanitarios (*)		Plástico	
	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)	Masa quemada (Gg)
1990	6,73	1,44	19,22	0,96	1,92	3,84	13,93							
1991	7,35	1,57	20,99	1,05	2,10	4,20	15,22							
1992	8,00	1,72	22,87	1,14	2,29	4,57	16,58							
1993	8,72	1,87	24,91	1,25	2,49	4,98	18,06							
1994	9,48	2,03	27,08	1,35	2,71	5,42	19,63							
1995	10,26	2,20	29,33	1,47	2,93	5,87	21,26							
1996	11,07	2,37	31,63	1,58	3,16	6,33	22,93							
1997	11,90	2,55	33,99	1,70	3,40	6,80	24,64							
1998	12,75	2,73	36,42	1,82	3,64	7,28	26,41							
1999	13,62	2,92	38,91	1,95	3,89	7,78	28,21							
2000	14,50	3,11	41,44	2,07	4,14	8,29	30,04							
2001	15,38	3,30	43,95	2,20	4,40	8,79	31,86							
2002	16,24	3,48	46,41	2,32	4,64	9,28	33,65							
2003	17,12	3,67	48,91	2,45	4,89	9,78	35,46							
2004	18,01	3,86	51,46	2,57	5,15	10,29	37,31							
2005	18,92	4,05	54,05	2,70	5,40	10,81	39,18							
2006	19,84	4,25	56,68	2,83	5,67	11,34	41,10							
2007	20,05	4,30	57,28	2,86	5,73	11,46	41,52							
2008	20,25	4,34	57,85	2,89	5,78	11,57	41,94							
2009	20,43	4,38	58,36	2,92	5,84	11,67	42,31							
2010	20,59	4,41	58,82	2,94	5,88	11,76	42,64							
2011	20,74	4,44	59,24	2,96	5,92	11,85	42,95							
2012	20,81	4,46	59,46	2,97	5,95	11,89	43,11							
2013	20,86	4,47	59,61	2,98	5,96	11,92	43,22							
2014	20,97	4,49	59,92	3,00	5,99	11,98	43,44							
2015	20,80	4,46	59,44	2,97	5,94	11,89	43,09							
2016	20,62	4,42	58,91	2,95	5,89	11,78	42,71							
2017	20,42	4,38	58,35	2,92	5,84	11,67	42,30							

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro B.3.5 Datos de actividad para aguas residuales industriales (4.D).

Año	Ganado vacuno		Porcicultura		Avicultura		Café fruta toneladas	Café fruta fanegas	Caña mil toneladas	Aceite crudo toneladas	Palma africana mil toneladas de fruta
	ton métricas canal	cabezas	ton métricas canal	cabezas	toneladas	Cabezas					
1990	87481,0	328863,6	14282,0	60848,3	42991,0	14330333,3	803400,0	3175494,1	2437,0	76590,0	333,0
1991	93962,0	353227,3	17314,0	73766,1	47465,0	15821666,7	862383,0	3408628,5	2629,0	67160,0	292,0
1992	80908,0	304154,0	19246,0	81997,3	49947,0	16649000,0	914830,0	3615928,9	2840,0	82110,0	357,0
1993	81898,0	307875,6	19106,0	81400,8	52251,0	17417000,0	856200,0	3384189,7	2987,0	83720,0	364,0
1994	95454,0	358836,1	23079,0	98327,8	54335,0	18111666,7	833945,0	3296225,3	2985,0	109250,0	475,0
1995	93587,0	351817,6	23616,0	100615,6	60424,0	20141333,3	824060,0	3257154,2	3439,0	112700,0	490,0
1996	96417,0	362456,3	20106,0	85661,3	65867,0	21955666,7	851177,0	3364336,0	3153,0	97060,0	422,0
1997	86142,0	323829,9	21219,0	90403,3	62838,0	20946000,0	734124,0	2901675,9	3682,0	112470,0	489,0
1998	82033,0	308383,1	24775,0	105553,5	65490,0	21830000,0	854939,0	3379205,5	3670,0	102120,0	444,0
1999	84442,0	317439,2	28951,0	123345,3	74480,0	24826666,7	819476,0	3239035,6	3363,0	113160,0	492,0
2000	82268,0	309266,6	30782,0	131146,3	73240,0	24413333,3	844588,0	3338292,5	3398,0	140070,0	609,0
2001	74348,0	279493,3	35673,0	151984,3	77160,0	25720000,0	773302,0	3056529,6	3472,0	153180,0	666,0
2002	68312,0	256802,4	36021,0	153467,0	76724,0	25574666,7	721788,0	2852917,0	3462,0	131376,0	571,2
2003	74104,0	278576,0	35786,0	152465,8	71820,0	23940000,0	951678,0	3761573,1	3959,2	133630,0	581,0
2004	70021,0	263226,9	37935,0	161621,5	84461,0	28153666,7	557245,0	2202549,4	3755,1	154100,0	670,0
2005	80741,0	303526,2	38712,0	164931,9	90953,0	30317666,7	661417,0	2614296,4	3615,6	179400,0	780,0
2006	75341,0	283226,2	40706,0	173427,3	98261,0	32753666,7	531779,0	2101893,3	3251,6	200661,2	872,4
2007	80847,0	303924,7	48012,0	204554,5	110377,0	36792333,3	637148,0	2518371,5	4087,6	189750,0	825,0
2008	87524,0	329025,2	50192,0	213842,3	106590,0	35530000,0	589257,0	2329079,1	3596,7	198536,0	863,2
2009	92693,0	348456,8	49601,0	211324,4	110548,0	36849333,3	481067,0	1901450,6	3635,4	206482,5	897,8
2010	97486,0	366474,9	46528,0	198231,9	105149,0	35049666,7	511428,0	2021454,5	3734,7	226734,0	985,8
2011	95999,0	360884,9	51791,0	220654,8	100248,0	33416000,0	526753,0	2082027,7	3418,2	241500,0	1050,0
2012	87520,0	329010,2	54315,0	231408,3	118833,0	39611000,0	666779,0	2635490,1	4005,8	255587,5	1111,3
2013	85033,0	319660,9	53694,0	228762,5	119838,0	39946000,0	407695,0	1611442,7	4411,1	299910,8	1304,0
2014	88196,0	331551,4	55024,0	234429,0	123700,0	41233333,3	509131,0	2012375,5	4344,0	203413,4	884,4
2015	81986,0	308206,5	57504,0	244995,0	124567,0	41522333,3	476656,0	1884015,8	4265,9	187680,0	816,0
2016	72954,0	274252,8	60361,0	257167,2	128266,0	42753333,3	540362,0	2135818,2	4158,4	250573,0	1089,4
2017	77994,0	293199,5	60640,0	258355,9	133200,0	44400000,0	517727,0	2046351,8	4142,1	252034,0	1095,8
2018	81194,8	305232,2	63390,0	270072,2	135500,0	45166666,7	449105,0	1775118,6	4421,2	250194,0	1087,8

Anexo C: Emisiones

C.1. Sector Energía

Cuadro C.1.1. Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría 1.A.1

Combustible/Año	Emisiones Gg CO ₂ eq																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
1.A.1.a Producción de electricidad y calor																													
Diesel	75,4	92,3	477,2	355,5	726,1	618,3	382,3	124,6	357,8	138,0	30,0	123,0	75,3	125,0	101,8	205,4	398,4	536,3	539,7	321,6	453,4	265,7	63,2	199,9	193,9	4,1	12,1	2,2	
Fuel oil	11,2	59,3	94,1	60,9	111,4	96,4	77,1	46,1	30,0	27,8	4,1	1,8	3,4	15,8	9,8	28,8	87,4	117,9	69,8	54,5	86,4	137,0	496,2	628,4	551,4	69,3	118,0	27,1	
IFO 380	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	231,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Residuos vegetales	0,3	0,3	0,1	0,1	0,3	0,5	0,3	0,3	0,1	0,1	0,5	0,4	1,4	1,4	0,2	0,8	0,9	1,0	1,0	1,7	2,0	1,9	2,5	2,5	2,3	2,5	2,5	2,5	
Biogás	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,0056	0,0102	0,0057	0,0035	0,0010	0,0005	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Total	86,9	151,9	571,4	416,5	837,8	715,1	459,8	171,1	387,9	166,0	34,5	125,2	80,2	142,2	111,7	235,1	486,6	655,2	610,5	377,9	541,8	635,6	561,8	830,8	747,7	75,8	132,5	31,8	
1.A.1.b Refinación de petróleo																													
Diesel	3,0	5,0	6,8	6,8	5,9	7,1	4,1	4,1	4,1	NO	NO	1,6	2,4	5,6	4,1	1,0	0,6	0,4	0,1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Fuel oil	119,7	58,9	73,1	73,1	73,5	93,6	92,2	92,2	NO	NO	NO	0,9	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	30,3
Gasolina	NO	NO	NO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	NO	NO	NO	NO	0,1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
LPG	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,6	0,1	NO	0,4	0,2	0,1	NO	NO	0,2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
IFO 380	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	49,9	66,5	70,6	64,6	59,2	80,2	80,0	72,3	64,8	68,1	43,9	33,0	30,1	30,1	30,1	30,1	NO	NO
Total	122,7	63,9	79,9	80,0	79,5	100,7	96,4	96,5	NO	NO	NO	52,3	69,5	76,3	68,7	81,0	80,5	80,5	72,4	64,8	68,3	43,9	33,0	30,1	30,1	30,1	30,1	30,3	32,5
1.A.1.c Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía																													
Madera	1,70	1,65	1,60	0,70	0,71	0,73	0,74	0,76	0,77	0,79	0,80	0,89	0,89	0,90	0,21	0,20	0,22	0,24	0,25	0,18	0,21	0,16	0,18	0,19	0,23	0,28	0,22	0,14	
Total 1.A.1	211,3	217,5	652,9	497,2	918,0	816,6	556,9	268,3	388,7	166,7	35,3	178,5	150,7	219,4	180,6	295,9	567,8	736,0	683,2	442,9	610,2	679,7	595,0	861,1	778,0	106,2	163,0	64,4	

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro C.1.2. Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría 1.A.2 en Gg

Categoría/Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
1.A.2.c Productos químicos																														
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1,7	1,8	2,0	2,0	2,0	1,8	2,8	3,1	3,4	3,8	3,9	4,3	5,6		
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Gasolina super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Nafta liviana	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	26,3	26,3	27,5	26,6	22,7	15,5	12,4	9,7	7,4	6,7	7,0	8,0	8,0		
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	6,0	4,8	5,3	5,4	4,6	NO	NO	NO	NO	
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	30,0	30,2	30,6	28,3	24,4	32,5	33,9	34,6	30,8	30,3	27,7	23,4	32,2		
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	58,8	59,1	60,9	57,6	49,9	56,2	54,1	52,9	47,2	45,5	38,8	35,9	45,9		
1.A.2.d Pulpa, papel e imprenta																														
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,9	1,0	1,2	1,4	1,4	1,6	2,0		
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,1	NO	NO	0,0	0,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	4,6	2,4	1,4	1,3	2,8	7,5	8,3	9,4		
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	NO	0,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	7,5	7,6	7,7	7,1	6,1	28,0	23,7	26,4	31,7	28,6	26,2	26,7	26,2		
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	9,1	9,1	9,3	8,8	7,6	33,2	27,5	29,3	34,8	33,5	35,9	37,3	38,4		
1.A.2.e Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco																														
Carbón Mineral	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	4,2	6,4	7,1	8,1	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	
Residuos vegetales	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	58,7	20,7	27,4	25,3	28,5	27,3	19,3	19,7	23,1	23,9	23,4	23,3	22,5		
Carbón vegetal	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	66,7	72,9	80,7	81,6	82,5	79,3	67,4	66,8	67,0	68,4	71,7	81,5	92,0		
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	NO	NO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Gasolina super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	0,3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	2,2	0,9	0,9	1,3	1,5	1,3	1,7	2,2	1,1	NO	NO	NO	NO	NO	
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	127,8	133,4	128,9	110,4	118,3	102,4	107,7	98,7	98,2	102,2	109,0	117,3			
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	4,3	4,8	4,4	4,4	4,1	0,9	0,6	0,6	0,5	NO	0,5	5,2	4,8		
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	234,6	236,6	239,7	221,4	190,9	199,5	189,5	217,5	187,7	170,8	179,1	188,2	188,0		
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	498,7	470,1	493,7	471,2	418,7	427,7	381,7	415,2	378,8	362,0	377,6	407,9	425,3		

Cuadro C.1.2. (continuación) Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría 1.A.2 en Gg

Categoría/Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
1.A.2.j Madera y productos de la madera																													
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,2	0,2	0,2	0,2	5,8	6,0	6,2	6,5	6,8	6,9	6,9	7,2	7,5	
Residuos vegetales	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	4,0	4,0	3,7	3,8	2,8	2,8	1,4	
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	3,6	3,9	4,4	4,4	4,5	4,0	4,2	4,3	4,5	4,8	4,9	5,4	7,0	
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	NO	NO	NO	NO	NO	
Gasolina super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,0	0,0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	9,2	9,2	9,6	9,3	8,0	5,1	6,1	6,4	5,7	5,7	6,3	7,2	7,3	
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	NO	NO	0,0	0,0	NO	NO	NO	NO	
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	3,5	3,6	3,6	3,3	2,9	1,1	1,6	1,1	1,3	1,6	2,1	1,7	2,5	
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	16,9	17,1	18,0	17,5	21,3	16,3	22,0	22,3	22,0	22,8	23,2	24,4	25,7	
1.A.2.k Construcción																													
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	47,7	55,1	78,6	94,6	103,0	33,6	43,1	41,9	48,4	66,7	66,1	64,8	69,5	
HFO 380	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	5,7	5,4	9,7	11,9	11,0	8,6	9,3	9,6	7,8	10,0	14,2	14,4	20,2	
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	3,1	2,7	2,0	2,0	9,4	2,4	2,1	1,5	0,3	0,0	0,8	2,6	1,4	
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	56,5	63,2	90,3	108,5	123,5	44,6	54,4	52,9	56,6	76,7	81,2	81,8	91,1	
1.A.2.l Textiles y cuero																													
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	6,2	6,8	7,5	7,6	7,6	6,9	3,6	2,9	2,3	1,7	1,8	1,9	2,5	
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	2,6	1,0	1,6	1,7	1,8	0,9	0,1	0,0	NO	NO	NO	NO	NO	
Gasolina super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,1	0,0	0,0	NO	NO	NO	NO	NO	
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,1	NO	NO	NO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	NO	NO	NO	NO	
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	39,9	39,9	41,7	40,3	34,5	24,0	27,2	28,3	25,5	25,4	28,1	31,8	32,0	
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	1,1	3,7	4,9	7,3	5,8	3,9	2,0	2,8	
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	29,1	29,4	29,7	27,5	23,7	17,5	14,0	11,5	9,3	8,3	9,0	8,5	8,2	
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	78,9	78,1	81,4	77,8	68,5	50,5	48,6	47,8	44,5	41,2	42,7	44,2	45,4	

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro C.1.2. (continuación) Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría 1.A.2 en Gg

Categoría/Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
1.A.2.m Industria no especificada																													
Carbón Mineral	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	4.3	5.6	60.2	1.6	10.4	2.8	21.8	8.8	19.5	23.6	1.3	1.3	20.4	
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
Residuos vegetales	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.2	0.5	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
Coque	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	141.3	162.7	274.4	333.5	281.7	261.5	363.4	330.7	328.4	321.4	313.9	341.5	370.1	
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	30.5	33.3	36.9	37.3	37.7	52.5	70.8	76.2	84.5	93.4	96.6	101.5	94.7	
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0.1	NO	0.0	0.0	0.0	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	3.3	7.7	8.9	10.2	11.9	11.3	10.8	
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	43.2	43.2	45.1	43.6	37.3	46.2	45.0	43.6	38.8	34.7	35.1	37.2	36.2	
Gasóleo	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	2.7	3.0	2.8	2.8	2.5	0.6	0.4	0.4	0.3	NO	NO	NO	NO	
IFO 380	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	146.5	147.8	149.7	138.2	119.2	95.4	94.2	83.5	76.4	68.9	65.2	67.8	82.9	
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	369.0	395.9	569.4	557.4	489.3	459.4	599.4	551.6	557.3	553.0	524.8	561.5	616.0	
TOTALES 1.A.2																													
LPG	17.5	19.8	23.8	23.6	27.4	32.6	36.5	39.3	41.2	48.2	59.2	61.4	63.7	66.0	96.6	108.8	119.0	131.7	133.2	134.6	144.8	149.6	154.3	162.8	173.5	180.4	196.2	203.7	
Gasolina regular	5.2	5.4	5.1	4.7	4.6	4.4	4.2	4.1	3.2	3.3	3.4	3.6	3.5	3.4	3.4	3.3	1.3	2.1	2.2	2.3	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Gasolina super	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Keroseno	6.3	6.6	4.5	5.2	5.6	6.1	6.7	6.2	6.9	3.2	3.1	2.8	2.5	1.0	3.3	2.5	1.0	1.0	1.5	1.7	1.7	5.3	10.2	10.2	10.4	12.1	11.6	11.0	
Diesel	73.3	75.8	81.4	92.2	96.9	90.7	90.7	106.0	111.6	128.2	136.7	141.1	157.0	161.6	197.1	294.9	302.3	336.7	344.0	316.7	247.3	238.5	239.0	226.0	240.2	252.4	266.3	279.7	
Gasóleo	3.3	0.7	0.6	0.1	0.1	2.5	4.3	9.0	10.8	16.6	21.0	18.0	17.2	18.6	17.1	14.0	14.7	18.2	20.5	18.8	17.1	18.8	20.9	21.2	20.5	18.6	21.6	27.7	
Fuel oil	481.2	457.7	507.8	549.6	531.8	543.6	504.6	561.0	600.8	623.9	641.1	527.5	427.1	421.2	432.2	454.4	457.8	462.9	427.8	376.6	376.4	359.1	376.0	337.5	308.4	310.1	319.0	341.5	
Madera	4.8	4.9	5.6	5.1	5.3	5.6	5.5	5.5	5.4	5.4	5.3	5.3	5.2	5.2	5.1	4.9	7.1	8.0	9.0	7.0	7.3	7.6	8.0	8.4	8.6	8.6	8.9	9.3	
Carbón Mineral	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.9	0.7	1.4	123.1	2.0	88.7	3.7	4.3	5.6	60.2	1.6	10.4	2.8	21.8	8.8	19.5	23.6	1.3	1.3	20.4	
Residuos vegetales	35.3	38.1	41.2	43.1	43.0	47.3	50.4	47.8	53.6	54.5	52.6	53.3	50.2	53.0	59.6	58.7	20.7	27.4	25.3	28.5	27.3	23.5	24.2	27.1	28.1	26.6	26.7	24.5	
Coque	0.7	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6	30.8	0.5	0.5	0.5	0.2	0.6	73.3	201.7	158.7	141.3	162.7	274.4	333.5	281.7	261.5	363.4	330.7	328.4	321.4	313.9	341.5	370.1	
TOTAL 1.A.2	627.9	609.4	670.4	724.3	715.4	733.4	733.9	779.7	855.0	884.5	924.1	937.1	802.0	1020.8	977.4	1087.9	1092.6	1323.0	1298.9	1178.8	1087.9	1187.8	1172.0	1141.1	1134.8	1124.2	1193.0	1287.9	

Cuadro C.1.3. Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría I.A.3 en Gg

Categoría/ Año	Emisiones (Gg CO ₂ eq)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
I.A.3b Transporte terrestre																													
I.A.3bi. Automóviles y carros para pasajeros																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	148,0	162,6	178,2	181,5	179,9	174,4	329,9	364,4	394,6	399,1	419,6	446,2	453,4
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	896,0	952,8	995,3	984,1	973,5	1011,9	1026,0	1043,8	1065,2	1057,5	1093,0	1105,3	1113,0
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	657,1	594,2	630,7	701,4	791,3	848,1	795,8	842,9	833,2	887,8	1019,5	1176,0	1221,0
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	8,3	11,9	19,1	20,6	20,2	21,0	13,8	15,4	13,7	16,2	17,3	14,8	19,2
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1709,3	1721,5	1823,2	1887,5	1964,9	2055,4	2165,5	2266,6	2306,8	2360,7	2549,3	2742,2	2806,6
I.A.3bii. Camiones para servicio ligero																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	758,5	833,4	913,5	930,4	922,4	894,2	748,5	722,8	687,4	695,2	731,3	778,2	790,8
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	23,6	21,4	22,7	25,2	28,5	30,4	64,5	77,2	85,7	91,4	105,0	121,1	125,7
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	83,5	88,8	92,7	91,7	90,7	95,0	194,3	217,1	241,5	239,7	247,6	250,5	252,2
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	7,7	9,6	15,2	18,8	20,3	14,8	19,2
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	865,7	943,5	1028,9	1047,4	1041,6	1019,5	1015,0	1026,8	1029,9	1045,2	1104,2	1164,6	1187,9
I.A.3biii. Camiones para servicio pesado y autobuses																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	769,6	845,5	926,8	944,0	935,8	1044,2	1194,8	1239,6	1291,9	1321,8	1389,1	1479,1	1493,7
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,6	NO	0,9	1,0	1,1	1,3	1,3
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	769,6	845,5	926,8	944,0	935,8	1044,2	1195,4	1239,6	1292,9	1322,8	1390,3	1480,4	1495,0
I.A.3biv. Motocicletas																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	20,9	18,9	20,0	22,3	25,2	26,9	89,7	110,9	126,5	134,9	154,9	178,7	185,5
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	206,6	219,8	229,5	227,0	224,5	233,4	125,1	105,0	84,7	84,1	86,9	87,9	88,5
Acetate dos tiempos	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	227,8	238,9	249,8	249,6	249,9	260,5	215,1	216,3	211,5	219,3	242,0	268,8	274,3
Total I.A.3b																													
Diesel	926,2	945,7	1016,4	1073,3	1151,4	1185,7	1220,2	1282,7	1383,7	1450,4	1423,5	1452,2	1563,0	1579,8	1656,2	1676,1	1841,4	2018,5	2055,9	2038,2	2112,8	2273,2	2326,9	2373,9	2416,1	2540,1	2703,6	2737,8	
Gasolina Super	89,0	58,7	102,9	228,5	416,1	548,5	637,5	671,9	849,9	935,5	736,2	731,6	821,8	826,5	820,7	701,6	634,5	673,4	748,9	844,9	905,4	980,7	1031,1	1046,3	1115,1	1280,4	1477,0	1533,6	
Gasolina Regular	555,2	610,2	709,1	754,7	765,9	742,3	700,6	701,5	701,6	745,7	961,1	1055,4	1088,6	1080,3	1113,6	1186,1	1261,4	1317,5	1302,8	1288,7	1340,2	1345,4	1366,0	1391,4	1381,3	1427,5	1443,6	1453,7	
Acetate dos tiempos	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	
LPG	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	11,9	19,1	20,6	20,2	21,0	21,5	25,1	29,0	35,1	37,5	29,6	38,4	
Etanol en gasolina	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	1570,6	1614,8	1828,7	2056,7	2333,6	2476,7	2538,5	2656,4	2955,5	3131,8	3121,0	3239,6	3473,7	3493,6	3598,4	3572,4	3749,4	4025,1	4124,8	4186,6	4374,5	4589,4	4749,2	4841,0	4947,9	5285,7	5654,0	5763,7	

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro C.1.3. (continuación). Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría 1.A.3 en Gg

Categoría/ Año	Emisiones (Gg CO ₂ eq)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
1A3c(i) Transporte todo terreno																													
Diesel	142,6	145,6	156,4	165,2	177,2	182,5	187,8	197,4	213,0	223,2	219,1	223,5	240,6	243,2	255,1	258,2	283,7	311,0	316,7	314,0	304,4	229,4	170,4	145,7	147,4	155,0	164,8	167,4	
Gasolina Super	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,0	1,0	1,3	1,5	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3	1,1	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,3	1,7	20,9	22,2	25,5	29,5	30,6	
Gasolina Regular	5,8	6,4	7,4	7,9	8,0	7,7	7,3	7,3	7,3	7,8	10,0	11,0	11,4	11,3	11,6	12,4	13,2	13,7	13,6	13,4	14,0	4,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Total 1A3c(i)	148,5	152,0	164,0	173,4	185,9	191,1	196,1	205,8	221,6	232,5	230,3	235,7	253,2	255,7	268,0	271,7	297,8	325,8	331,5	328,8	319,8	247,3	190,2	166,6	169,6	180,5	194,3	198,0	
1A3c(ii) Ferrocarril																													
Diesel	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1,5	1,6	1,8	2,0	2,0	2,0	3,4	3,8	4,7	5,1	4,9	5,3	5,3	5,2	
1A3d) Transporte marítimo																													
Diesel	3,9	3,9	4,2	4,5	4,8	4,9	5,1	5,3	5,8	6,0	5,9	6,0	6,5	6,6	6,9	7,0	7,7	8,4	8,6	8,5	6,4	6,3	4,2	6,8	5,9	6,9	4,3	4,9	
Keroseno	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Gasolina regular	13,8	15,2	17,6	18,7	19,0	18,4	17,4	17,4	17,4	18,5	23,9	26,2	27,0	26,8	27,7	29,8	31,6	33,1	32,7	32,3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Total	18,1	19,5	22,3	23,4	24,0	23,5	22,8	23,2	23,6	25,1	30,2	32,6	33,9	33,7	34,7	36,7	39,3	41,5	41,2	40,8	6,4	6,3	4,2	6,8	5,9	6,9	4,3	4,9	
1A3a ii Transporte aéreo Nacional																													
Gasolina avión	8,7	10,4	12,0	14,1	14,0	13,0	12,2	10,9	11,2	10,5	9,9	8,0	8,8	7,9	7,9	6,9	6,0	4,9	4,7	4,5	4,1	4,5	3,8	3,7	3,4	3,4	3,5	3,7	
Jet fuel	6,6	7,4	10,4	13,0	13,0	14,5	14,7	16,0	18,0	18,3	17,9	15,2	17,0	21,4	28,7	35,6	35,0	33,6	37,5	37,6	47,2	49,8	35,3	34,3	34,2	38,9	40,5	41,6	
Total	15,3	17,8	22,5	27,1	27,0	27,5	26,9	27,0	29,2	28,8	27,8	23,2	25,7	29,3	36,6	42,5	41,1	38,5	42,2	42,0	51,3	54,3	39,2	38,0	37,6	42,3	44,0	45,3	
1A3 Transporte																													
Diesel	1072,6	1095,2	1177,1	1243,0	1333,4	1373,2	1413,1	1485,5	1602,4	1679,7	1648,5	1681,8	1810,1	1829,6	1919,8	1943,0	2134,6	2339,9	2383,3	2362,7	2427,0	2512,8	2506,2	2531,6	2574,3	2707,3	2878,1	2915,3	
Gasolina Super	89,2	58,8	103,1	228,8	416,7	549,3	638,5	673,0	851,3	936,9	737,3	732,8	823,1	827,8	822,0	702,7	635,5	674,5	750,1	846,2	906,8	964,6	1048,8	1067,2	1137,3	1305,9	1506,5	1564,2	
Gasolina Regular	574,8	631,8	734,1	781,3	793,0	768,4	725,3	726,3	726,4	772,0	995,0	1092,7	1127,0	1118,4	1152,8	1228,2	1306,2	1364,3	1349,0	1334,5	1354,2	1349,4	1368,0	1391,4	1381,3	1427,5	1443,6	1453,7	
Acetate dos tiempos	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	
LPG	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	6,6	7,7	8,3	11,9	19,1	20,6	20,2	21,0	21,5	25,1	29,0	35,1	37,5	29,6	38,4
Etnanol en gasolina	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	0,5	0,4	0,4	0,2	0,1	0,1	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Gasolina avión	8,7	10,4	12,0	14,1	14,0	13,0	12,2	10,9	11,2	10,5	9,9	8,0	8,8	7,9	7,9	6,9	6,0	4,9	4,7	4,5	4,1	4,5	3,8	3,7	3,4	3,4	3,5	3,7	
Jet fuel	6,6	7,4	10,4	13,0	13,0	14,5	14,7	16,0	18,0	18,3	17,9	15,2	17,0	21,4	28,7	35,6	35,0	33,6	37,5	37,6	47,2	49,8	35,3	34,3	34,2	38,9	40,5	41,6	
Total 1A3	1752,5	1804,1	2037,4	2280,6	2570,5	2718,7	2804,2	2912,4	3210,0	3418,2	3409,2	3531,1	3786,5	3812,2	3939,3	3924,9	4129,5	4432,8	4541,7	4600,3	4755,5	4901,2	4987,4	5057,5	5165,9	5520,8	5902,0	6017,2	

Cuadro C.1.4. Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría I.A.4 en Gg

Categoría/Año	Emisiones (Gg CO ₂ equivalente)																														
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017			
I.A.4 OTROS SECTORES																															
I.A.4.a Comercial/Institucional/Servicios																															
Servicios																															
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	5,3	6,3	7,3	8,5	6,5	6,8	7,0	7,3	7,5	7,9	8,2	8,5	8,8	8,8		
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	47,8	47,2	48,8	49,5	38,9	48,6	49,3	50,2	40,4	42,7	44,0	47,8	56,4	56,4		
Gasolina Regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	1,6	0,8	1,0	0,9	1,5	0,9	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1		
Gasolina Super	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2		
Diesel	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	35,2	29,8	29,1	28,3	24,2	32,4	18,6	10,6	14,6	12,1	15,3	19,9	19,5			
Fuel oil	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,3	0,3	0,6	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2		
Comercial																															
Madera	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	2,5	3,4	4,3	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Carbon vegetal	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
LPG	20,8	17,4	18,3	22,5	27,7	32,0	37,2	37,8	47,3	62,5	55,2	45,8	58,4	59,1	40,3	2,6	2,6	2,6	2,7	2,1	2,6	2,7	2,7	14,7	15,5	16,0	17,4	20,6			
Gasolina Regular	2,1	2,2	1,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	1,9	1,8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1		
Gasolina Super	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1		
Keroseno	13,5	13,3	13,3	13,7	12,8	11,6	10,6	14,0	13,1	15,2	13,2	12,2	12,4	8,5	3,9	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Diesel	20,7	38,2	39,6	40,0	41,7	43,3	54,4	58,1	63,0	73,3	99,5	109,5	85,0	87,6	74,1	28,1	23,7	23,2	22,5	19,3	16,5	7,6	5,8	1,8	1,6	1,8	2,0	2,0			
Fuel oil	NO	NO	NO	NO	NO	2,6	2,5	2,4	2,3	2,5	2,2	1,9	1,6	1,2	0,9	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Público																															
Diesel	8,8	6,4	6,6	10,5	7,4	7,2	8,0	8,3	9,3	7,7	7,0	7,7	9,6	9,9	8,0	7,8	8,2	8,0	7,8	7,0	5,9	4,9	6,5	5,8	5,0	5,5	4,6	4,5			
Fuel oil	19,0	18,0	17,0	18,5	15,7	14,8	15,2	14,6	14,7	18,7	13,0	10,8	8,8	8,9	13,7	11,5	11,5	11,0	12,9	14,8	14,0	11,1	14,6	13,9	16,2	15,6	13,6	14,8			
Totales I.A.4.a																															
Madera	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	2,5	3,4	4,3	5,3	6,3	7,3	8,5	6,5	6,8	7,0	7,3	7,5	7,9	8,2	8,5	8,8	8,8		
LPG	20,8	17,4	18,3	22,5	27,7	32,0	37,2	37,8	47,3	62,5	55,2	45,8	58,4	59,1	40,3	50,4	49,7	51,5	52,2	41,0	51,3	52,0	52,9	55,1	58,2	60,0	65,2	77,0			
Gasolina Regular	2,1	2,2	1,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,5	1,5	1,7	1,8	1,9	1,8	1,7	0,8	1,1	0,9	1,7	1,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2		
Gasolina Super	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3		
Diesel	29,5	44,7	46,2	50,5	49,2	50,6	62,5	66,4	72,3	81,0	106,5	117,2	94,7	97,5	82,1	71,1	61,7	60,4	58,5	50,4	54,8	31,1	22,9	22,2	18,7	22,5	26,6	26,0			
Fuel oil	19,0	18,0	17,0	18,5	15,7	17,3	17,7	17,0	17,0	21,2	15,2	12,7	10,3	10,2	14,6	12,1	11,6	13,4	13,3	14,3	15,3	11,4	15,2	14,1	16,5	16,0	13,9	15,0			
Nafta pesada	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Keroseno	13,5	13,3	13,3	13,7	12,8	11,6	10,6	14,0	13,1	15,2	13,2	12,2	12,4	8,5	3,9	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Gasóleo	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Carbon vegetal	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	86,3	96,9	97,8	107,7	107,8	113,7	130,0	137,4	152,4	182,5	193,0	191,0	180,1	180,7	147,0	140,6	130,7	131,9	133,6	114,9	129,2	102,2	98,8	99,1	101,3	106,8	114,5	127,3			

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro C.1.4. (continuación). Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría I.A.4 en Gg

Categoría/Año	Emisiones (Gg CO ₂ equivalente)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
I.A.4.b Residencial																													
Urbano																													
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	9.8	23.2	16.2	14.8	12.2	11.4	6.5	5.2	5.7	7.4	9.2	7.2	7.5
Carbón Vegetal	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	57.9	56.6	58.7	59.8	61.2	63.5	85.3	92.1	98.3	107.1	112.2	126.9	128.2
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	0.8	0.9	1.3	1.5	1.6	1.3	1.7	1.0	1.0	1.2	1.1	1.1
Rural																													
Madera	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	79.5	83.9	70.3	62.9	53.0	57.8	52.6	46.8	43.9	33.5	29.6	25.0	23.1
Biogás	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
Carbón Vegetal	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	0.07	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
LPG	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	60.4	54.9	56.9	58.0	59.3	61.5	42.6	39.7	42.3	46.1	48.4	54.7	55.2
Gasolina regular	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	IE	3.2	2.7	3.1	4.5	5.0	5.6	2.8	3.4	2.0	2.0	2.4	2.2	2.1
Totales I.A.4.b																													
Madera	74.2	67.6	60.9	54.3	55.0	55.7	57.2	57.9	58.7	59.5	60.2	66.5	73.4	81.0	89.4	107.1	86.6	77.7	65.2	69.2	59.1	51.9	49.6	41.0	38.8	32.2	30.6	30.6	
Carbón Vegetal	1.3	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	
LPG	37.0	38.1	39.3	40.5	46.4	53.1	60.8	69.6	79.6	91.2	104.3	119.4	124.4	129.5	134.8	118.3	111.5	115.5	117.9	120.4	125.0	127.9	131.8	140.6	153.2	160.6	181.6	183.5	
Gasolina regular	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Keroseno	6.9	6.9	6.8	6.6	6.0	5.5	5.1	7.3	6.7	7.9	6.8	6.3	6.5	4.4	4.4	3.2	3.5	4.0	5.9	6.4	7.2	4.1	5.1	3.0	3.1	3.6	3.2	3.1	
Biogás	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004
Total	119.8	114.1	108.4	102.4	108.3	115.1	123.0	134.6	144.9	158.2	171.0	186.3	197.7	207.6	220.5	211.1	222.3	206.4	201.6	192.2	201.7	191.2	189.0	193.5	197.4	203.3	217.2	217.4	
I.A.4.c Agricultura/Pesca/Psicofactorias																													
Gasolina Regular	16.6	17.3	16.8	16.3	15.8	21.2	23.7	24.2	24.5	24.9	25.4	25.7	26.1	26.5	26.9	27.8	28.3	25.8	15.4	15.4	15.8	17.4	16.6	17.8	18.4	15.8	20.1	20.4	
Keroseno	0.4	0.4	0.4	0.2	0.1	0.1	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.7	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	2.5	5.1	5.3	5.4	6.3	6.0	5.7	
Diesel	65.6	67.9	72.9	77.4	82.6	84.6	87.5	92.6	99.8	105.5	105.7	108.5	115.2	116.7	118.5	127.3	130.0	114.1	102.7	98.0	103.6	116.9	123.1	123.0	123.2	127.2	139.8	148.0	
Fuel oil	6.4	5.8	6.1	5.6	6.2	6.8	6.8	6.9	5.7	5.8	5.8	4.8	3.9	4.0	2.2	1.1	0.9	1.2	0.6	0.4	0.5	0.4	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Total	89.1	91.3	96.2	99.6	104.9	112.7	118.3	124.2	130.5	136.7	137.3	139.5	145.7	147.6	148.3	156.4	159.4	141.3	119.1	114.2	120.2	137.2	144.9	146.0	147.0	149.3	165.8	174.1	

Cuadro C.1.4. (continuación). Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría 1.A.4 en Gg

Categoría/Año	Emisiones (Gg CO ₂ equivalente)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
1.A.4 OTROS SECTORES																													
Totales 1.A.4																													
Madera	75,5	68,8	62,1	55,4	56,0	56,6	57,2	58,1	59,0	59,9	60,9	61,8	68,9	76,7	85,3	94,6	113,4	93,9	86,2	71,7	76,0	66,1	59,3	57,2	48,8	47,0	40,7	39,5	
LPG	57,8	55,5	57,6	63,1	74,1	85,1	98,0	107,3	127,0	153,6	159,5	165,2	182,8	188,6	175,1	168,8	161,2	167,0	170,1	161,5	176,3	179,8	184,7	195,7	211,4	220,6	246,8	260,4	
Gasolina Regular	19,2	19,9	19,0	18,1	17,6	23,0	25,4	25,8	26,3	26,8	27,2	27,6	28,1	28,6	28,9	29,5	29,1	26,9	16,4	17,1	16,8	17,8	16,8	17,9	18,4	15,9	20,2	20,6	
Gasolina Super	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	1,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	
Diesel	95,1	112,6	119,1	127,9	131,8	135,1	150,0	159,0	172,1	186,5	212,2	225,7	209,9	214,2	200,6	198,4	191,7	174,5	161,3	148,4	138,4	148,0	146,0	145,2	141,9	149,8	166,3	174,0	
Fuel oil	25,4	23,8	23,2	24,1	21,9	24,1	24,4	24,0	22,7	26,9	20,9	17,5	14,2	14,1	16,8	13,2	13,0	12,8	14,0	15,7	14,8	11,9	15,2	14,1	16,5	16,0	13,9	15,0	
Keroseno	20,8	20,6	20,6	20,5	19,0	17,2	16,0	21,7	20,4	23,5	20,4	18,9	13,3	9,0	3,4	3,7	4,3	6,2	6,8	7,6	6,6	10,2	8,3	8,4	9,8	9,2	8,8		
Carbón vegetal	1,6	1,5	1,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,4	2,1	0,8	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	
Biogas	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	
Residuos vegetales	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	295,2	302,3	302,4	309,7	320,9	341,5	371,4	396,3	427,7	477,4	501,3	516,8	523,5	535,9	515,7	508,2	512,4	479,6	454,3	421,3	451,1	430,7	432,7	438,6	445,8	459,4	497,6	518,9	

Cuadro C.1.5. Emisiones de CO₂ equivalente de la categoría 1.B.2.a en Gg

Subcategoría de fuente/Año	Emisiones (Gg CO ₂ equivalente)																											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1.B.2.a.iii Transporte de petróleo	0,055	0,046	0,073	0,075	0,072	0,095	0,082	0,083	0,005	NO	0,006	0,036	0,063	0,069	0,069	0,071	0,088	0,094	0,084	0,053	0,066	0,023	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.B.2.a.iv Refinación de petróleo	3,140	2,623	4,142	4,249	4,113	5,406	4,668	4,701	0,294	NO	0,347	2,039	3,576	3,930	3,936	4,035	5,012	5,369	4,766	3,032	3,781	1,333	NO	NO	NO	NO	NO	NO
1.B.2.a Petróleo	3,196	2,669	4,215	4,324	4,186	5,501	4,751	4,783	0,299	NO	0,353	2,075	3,639	3,999	4,006	4,106	5,100	5,463	4,849	3,085	3,847	1,356	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Cuadro C.1.6. Emisiones de la categoría 1.B.2.a en Gg

Gas/Año	Emisiones (Gg)																											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	2,835	2,368	3,740	3,836	3,714	4,881	4,215	4,244	0,265	NO	0,314	1,841	3,229	3,548	3,554	3,643	4,525	4,847	4,303	2,737	3,414	1,203	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CH ₄	0,017	0,014	0,023	0,023	0,022	0,030	0,026	0,026	0,002	NO	0,002	0,011	0,020	0,021	0,022	0,022	0,027	0,029	0,026	0,017	0,021	0,007	NO	NO	NO	NO	NO	NO

Cuadro C.1.7. Emisiones de la categoría 1.B.3 en Gg

Gas/Año	Emisiones (Gg CO ₂)																											
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂	NO	NO	NO	NO	NO	41,6	57,1	62,2	66,4	72,2	98,1	119,1	120,3	136,7	176,1	132,2	126,0	134,9	139,7	124,8	131,3	129,3	125,6	133,1	137,6	117,0	118,6	93,2

Cuadro C.1.8. Emisiones de CO₂ por la quema de biomasa

Categoría/ Año	Emisiones (Gg)																												
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
I.A.1. Industrias de la energía	93,9	91,7	78,1	35,9	55,1	62,8	53,4	55,3	42,3	42,5	67,1	68,2	135,8	136,6	24,2	70,2	74,4	80,4	74,9	120,2	137,8	129,2	170,3	170,9	164,32	175,0	172,3	168,60	
I.A.2. Industrias manufactureras y de la construcción	1001,1	1068,1	1165,4	1188,9	1196,2	1300,5	1367,6	1301,5	1456,0	1412,0	1394,5	1406,6	1351,6	1400,3	1548,4	1514,9	1644,7	2071,1	1965,6	2085,9	2040,3	1851,2	1859,6	2075,4	2152,7	2064,7	2082,0	2013,4	
I.A.3. Transporte	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	5,1	3,8	3,7	5,5	5,2	1,6	0,1	NO	NO	NO	NO	NO	NO
I.A.4. Otros sectores	863,9	784,1	704,1	623,7	627,9	632,5	637,6	646,0	654,7	673,2	673,2	683,0	761,6	847,8	941,6	1045,2	1251,6	1038,0	953,4	792,0	840,1	730,7	655,7	632,9	542,2	523,3	452,2	439,3	
I.B.2. Petróleo y gas natural	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
I.B.3. Otras emisiones provenientes de la producción de energía	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
Total	1958,9	1944,0	1947,6	1848,5	1879,1	1995,8	2058,5	2002,8	2133,0	2127,8	2134,9	2157,8	2249,1	2384,7	2514,2	2630,3	2975,9	3193,3	2997,5	3003,6	3023,4	2712,7	2685,8	2879,3	2859,3	2763,0	2706,5	2621,3	

C.2. Sector Procesos Industriales y Uso de Productos

Cuadro C.2.1. Emisiones para la categoría 2.A.1

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂ (Gg)	325,6	285,2	296,3	331,4	362,2	337,4	334,1	361,6	391,4	396,8	486,1	526,1	528,0	505,7	456,9	497,8	603,4	639,3	619,0	632,3	585,8	610,5	636,0	665,9	660,4	675,2	674,6	718,6

Cuadro C.2.2. Emisiones para la categoría 2.A.2

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂ (Gg)	0,75	0,89	1,20	1,51	1,82	2,13	2,54	2,55	2,67	2,78	3,62	2,32	2,54	2,98	2,98	3,62	4,10	3,36	3,37	4,13	4,93	4,33	4,77	3,70	2,95	2,47	2,16	1,96

Cuadro C.2.3. Emisiones para la categoría 2.A.3

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂ (Gg)	8,2	8,4	8,1	8,0	8,0	8,5	8,4	9,8	11,3	12,2	12,8	15,7	19,46	15,40	14,02	16,80	25,34	24,91	16,04	15,13	16,10	15,79	19,58	18,41	18,40	16,93	16,34	16,67

Cuadro C.2.4. Emisiones para la categoría 2.A.4b

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂ (Gg)	0,38	0,31	0,44	0,48	0,46	0,26	0,32	0,15	0,03	0,26	0,69	0,11	NO	2,11	3,82	3,77	1,23	NO	2,56	4,86	1,91	3,56	4,60	4,10	1,29	3,43	2,28	4,15

Cuadro C.2.5. Emisiones para la categoría 2.B.2

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
N ₂ O (ton)					637,20					559,58				745,32		647,97				544,30				689,12			814,57	
CO ₂ eq (Gg)					197,53					173,47				231,05		200,87				168,73				213,63			252,52	

Cuadro C.2.6. Emisiones para la categoría 2.B.5

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂ (Gg)	0,29	0,29	0,30	0,31	0,31	0,37	0,61	0,73	0,53	0,69	0,46	0,47	0,43	0,26	0,31	0,35	0,23	0,38	0,30	0,28	0,38	0,37	0,25	0,24	0,27	0,34	0,28	0,34

Cuadro C.2.7. Emisiones para la categoría 2.D.1

Lubrificante	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Grasas	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,020	0,017	0,020	0,01	0,01	0,017	0,019	0,020	0,022	0,014	0,012	0,014	0,013	0,011	0,014	0,008	0,015	0,019	0,046	0,031	0,030
CO ₂ (Gg)	2	3	3	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Acetates	8,12	8,35	8,58	8,81	9,04	9,27	9,50	11,04	13,56	13,98	13,31	9,24	10,43	12,20	13,44	13,25	13,98	14,32	13,27	12,51	12,90	12,59	12,80	13,45	13,59	13,68	14,77	14,51
CO ₂ (Gg)	5	5	5	5	5	5	5	8	8	8	10	11	12	15	19	28	41	64	94	135	197	280	400	570	810	1150	1650	2350

Cuadro C.2.8. Emisiones para la categoría 2.D.2

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CO ₂ (Gg)	0,98	1,01	1,03	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20	1,23	1,26	1,28	1,30	1,33	1,35	1,37	1,39	1,41	1,59	1,59	1,50	1,14	1,17	1,62	1,65	1,73	1,67	1,57

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro C.2.9. Emisiones para la categoría 2.F.1

Aplicación	Gas (kg)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Refrigeración doméstica	HFC-32	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003	0,0029	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,11	0,13	0,30	0,33	0,43	
	HFC-125	NO	NO	NO	NO	NO	0,10	0,10	0,20	0,22	0,23	0,26	0,30	0,43	0,51	0,61	0,67	0,81	1,04	1,35	1,68	2,09	2,13	2,65	
	HFC-134a	NO	NO	NO	NO	NO	83,25	121,31	154,60	203,24	262,75	305,25	390,43	484,65	626,58	720,63	819,02	956,64	1092,82	1287,44	1474,90	1755,11	1959,52	2173,00	
	HFC-143a	NO	NO	NO	NO	NO	0,16	0,17	0,19	0,22	0,24	0,29	0,34	0,43	0,55	0,69	0,77	0,95	1,10	1,41	1,76	2,05	2,43	2,93	
	HFC-23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
	Total (kg)	NO	NO	NO	NO	NO	83,50	121,58	154,98	203,68	263,22	305,81	391,08	485,53	627,68	721,97	820,50	958,45	1095,02	1290,30	1478,47	1759,55	1964,42	2179,02	
	Total Gg CO ₂ eq.	NO	NO	NO	NO	NO	0,11	0,16	0,20	0,27	0,34	0,40	0,51	0,63	0,82	0,94	1,07	1,25	1,43	1,68	1,93	2,30	2,56	2,84	
	Refrigeración Comercial	HFC-32	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,03	0,03	0,04	0,15	1,68	16,67	15,48	14,58	15,20	18,70	21,10	40,95	56,60	68,88	87,46	430,16
		HFC-125	NO	NO	NO	NO	NO	1584,45	1450,19	2819,59	2762,08	2525,79	2686,24	2962,89	4573,23	5339,21	6156,42	6307,96	7730,78	10434,00	13682,89	17993,97	20786,32	27570,07	22310,65
		HFC-134a	NO	NO	NO	NO	NO	2354,34	3089,23	3584,36	4444,08	5489,35	5903,04	7471,25	9070,30	11791,99	12771,62	13740,27	15686,78	17320,15	20439,90	38494,15	31586,45	31380,35	36265,05
HFC-143a		NO	NO	NO	NO	NO	2735,94	2504,11	2545,11	2794,34	2679,43	3164,05	3635,12	4656,91	6181,23	7777,30	7962,39	10057,59	11251,06	14919,99	37416,48	22539,89	24860,43	30214,00	
HFC-152a		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2,82	4,30	8,21	10,28	11,29	13,13	13,26	13,88	11,30	16,34	14,05	11,94	10,15	
HFC-23		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	
Total (kg)		NO	NO	NO	NO	NO	6674,73	7043,53	8949,10	10000,53	10694,61	11758,30	14075,23	18325,32	23338,20	26731,22	28038,95	33507,11	39037,61	49100,05	103975,08	74995,58	83910,25	89230,00	
Total Gg CO ₂ eq.		NO	NO	NO	NO	NO	17,89	17,59	22,23	24,13	24,39	27,22	31,82	42,30	53,78	63,40	65,79	80,27	94,50	121,61	270,64	184,96	212,52	224,71	
Refrigeración Industrial		HFC-32	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0,01	0,005	0,01	0,03	0,32	3,21	2,67	2,28	2,25	2,82	3,13	6,67	9,40	8,51	9,24	9,42
		HFC-125	NO	NO	NO	NO	NO	597,04	486,74	963,02	859,97	712,05	737,26	809,02	1381,02	1582,88	1796,87	1752,72	2207,21	3110,96	4018,26	5337,54	5559,29	6487,78	7503,99
	HFC-134a	NO	NO	NO	NO	NO	35,23	42,70	46,37	55,68	67,38	69,07	88,49	107,07	141,38	147,16	153,53	175,11	190,98	223,76	253,97	246,74	2340,84	2649,77	
	HFC-143a	NO	NO	NO	NO	NO	973,96	794,04	743,84	782,51	695,19	836,98	964,39	1281,15	1752,17	2212,38	2140,47	2776,40	3044,22	4077,87	5510,00	5725,65	6997,40	6460,07	
	HFC-23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2,08	4,69	
	Total (kg)	NO	NO	NO	NO	NO	1606,2	1323,5	1753,2	1698,2	1474,6	1643,3	1862,2	2772,4	3479,1	4158,7	4049,0	5161,5	6349,3	8326,6	11110,9	11540,2	15837,3	16627,9	
	Total Gg CO ₂ eq.	NO	NO	NO	NO	NO	5,42	4,44	5,58	5,45	4,72	5,33	6,05	8,88	11,28	13,63	13,24	16,96	20,53	27,04	36,22	37,65	47,83	49,07	

Cuadro C.2.9. (continuación). Emisiones para la categoría 2.F.1.

Aplicación	Gas (kg)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		
Total Refrigeración	HFC-32	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.04	0.03	0.05	0.2	2.0	19.9	18.2	16.9	17.5	21.6	24.3	47.7	66.1	77.7	97.0	440.0		
	HFC-125	NO	NO	NO	NO	NO	2181.6	1937.0	3782.8	3622.3	3238.1	3423.8	3772.2	5954.7	6922.6	7953.9	8061.4	9938.8	13546.0	17702.5	33333.2	26347.7	34060.0	29817.3		
	HFC-134a	NO	NO	NO	NO	NO	2472.8	3253.2	3785.3	4703.0	5819.5	6279.4	7950.2	9663.0	12560.0	13639.4	14712.8	16818.5	18604.0	21951.1	40223.0	33588.3	35680.7	41087.8		
	HFC-143a	NO	NO	NO	NO	NO	3710.1	3298.3	3289.1	3577.1	3374.9	4001.3	4599.8	5938.5	7934.0	9990.4	10103.6	12834.9	14296.4	18999.3	42928.2	28267.6	31860.3	36677.0		
	HFC-152a	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2.8	4.3	8.2	10.3	11.3	13.1	13.3	13.3	11.3	16.3	13.9	14.0	11.9	10.1	
	HFC-23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2.1	4.7	
	Total (kg)	NO	NO	NO	NO	NO	8564.46	8488.59	10857.3	11902.4	12432.5	13707.5	16228.5	21583.3	27444.97	31611.88	32908.42	39267.09	46481.91	58716.93	116564.5	88295.33	101712.0	108037.0		
	Total Gr CO ₂ eq.	NO	NO	NO	NO	NO	23.42	22.19	28.01	29.85	29.46	32.95	38.38	51.81	65.87	77.98	80.10	98.48	116.46	150.33	308.79	224.91	262.91	276.62		
	Refrigeración móvil	HFC-32	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.0002	0.0001	0.0001	0.001	0.01	0.1	0.1	0.04	0.03	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3	0.3	0.02	0.1
		HFC-125	NO	NO	NO	NO	NO	412.3	233.1	529.5	359.8	226.2	253.5	303.6	686.5	1545.7	423.1	851.1	631.4	1319.4	1936.9	2577.8	5269.4	2285.0	2930.8	
HFC-134a		NO	NO	NO	NO	NO	54.7	52.6	48.6	56.8	68.1	62.9	88.4	107.4	257.9	134.0	84.8	146.4	184.5	184.8	273.4	456.1	404.9	313.1		
HFC-143a		NO	NO	NO	NO	NO	754.7	426.6	328.2	338.2	253.0	371.0	446.4	655.4	2450.2	510.3	533.1	1175.8	1330.4	2319.1	3033.9	5632.2	4884.0	4862.4		
Total (kg)		NO	NO	NO	NO	NO	1221.67	712.28	906.28	754.75	547.39	687.36	838.35	1449.39	4253.87	1067.39	1469.02	1953.69	2834.29	4440.99	5885.35	11358.0	7573.91	8106.33		
Total Gr CO ₂ eq.		NO	NO	NO	NO	NO	4.09	2.34	2.79	2.37	1.68	2.20	2.66	4.55	13.97	3.30	4.52	6.43	8.99	14.48	19.10	36.75	25.48	27.09		
HFC-32		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	0.2	0.2	0.3	0.3	0.9	10.5	104.4	97.0	91.3	95.2	117.1	132.2	210.7	357.0	465.1	683.4	736.6	
HFC-125		NO	NO	NO	NO	NO	80.2	73.4	142.7	139.8	127.9	136.0	150.0	231.5	270.3	311.7	319.3	391.4	528.2	658.2	890.1	1201.2	1421.8	1440.9		
HFC-134a		NO	NO	NO	NO	NO	54.5	61.9	830.7	1029.9	1272.2	1368.5	1731.5	2102.0	2732.8	2959.8	3184.3	3635.4	4013.9	4542.5	5311.0	5675.4	6771.3	6989.0		
HFC-143a		NO	NO	NO	NO	NO	62.1	56.8	75.0	78.1	73.3	82.4	91.5	113.3	146.7	181.9	185.3	232.1	258.6	333.4	440.5	472.2	570.0	574.7		
HFC-23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO		
Total (kg)	NO	NO	NO	NO	NO	687.9	846.1	1048.6	1248.0	1473.5	1587.8	1983.5	2551.2	3246.7	3544.7	3784.1	4376.0	4932.9	5744.8	6998.5	7813.8	9446.5	9741.1			
Total Gr CO ₂ eq.	NO	NO	NO	NO	NO	1.17	1.35	1.76	2.03	2.29	2.47	3.03	3.88	4.93	5.47	5.80	6.78	7.77	9.15	11.30	12.84	15.39	15.78			
Aire acondicionado	HFC-32	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	5.9	5.3	7.7	27.1	299.4	2960.5	2895.9	2857.5	3067.1	3780.9	4322.5	8081.1	11005.6	16452.0	20615.1	27367.5		
	HFC-125	NO	NO	NO	NO	NO	1265.5	1221.5	2366.8	2422.0	2322.0	2520.5	2811.3	4171.3	4913.8	5714.8	6001.9	7293.8	9649.6	13089.1	15813.2	21196.9	25358.0	32516.9		
	HFC-134a	NO	NO	NO	NO	NO	124.2	169.1	202.8	256.2	320.9	354.2	448.1	546.7	707.4	781.6	855.6	981.4	1093.5	1266.9	1445.0	1862.0	2705.0	3176.9		
	HFC-143a	NO	NO	NO	NO	NO	117.1	113.0	119.5	134.6	134.1	158.7	183.3	232.0	303.9	381.5	401.2	501.8	567.3	722.5	949.6	1305.2	1511.9	1463.7		
	Total (kg)	NO	NO	NO	NO	NO	1506.7	1503.7	2695.0	2818.1	2784.7	3060.4	3742.0	7910.5	8821.0	9735.4	10325.8	12557.9	15632.9	23159.6	29213.4	40816.1	50190.0	64524.9		
	Total Gr CO ₂ eq.	NO	NO	NO	NO	NO	4.15	4.07	7.35	7.63	7.43	8.14	9.35	15.20	17.72	20.32	21.44	26.06	33.41	46.29	56.92	77.43	93.66	118.53		

INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES POR FUENTES Y ABSORCIÓN POR SUMIDEROS DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE COSTA RICA, 1990-2017

Cuadro C.2.9. (continuación). Emisiones para la categoría 2.F.1

Aplicación	Gas (kg)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Aire acondicionado Móvil	HFC-134a	3593,8	6320,1	8472,8	10795,2	12926,7	24142,5	27769,7	29434,1	33192,6	48714,0	45413,4	49309,2	54913,2	71283,2	78811,2	99623,8	100774,3	113025,2	129267,8	138426,2	189099,8	160004,0	150488
	Total (kg)	3593,8	6320,1	8472,8	10795,2	12926,7	24142,5	27769,7	29434,1	33192,6	48714,0	45413,4	49309,2	54913,2	71283,2	78811,2	99623,8	100774,3	113025,2	129267,8	138426,2	189099,8	160004,0	150488
	Total Gg CO ₂ eq.	4,67	8,22	11,01	14,03	16,80	31,39	36,10	38,26	43,15	63,33	59,04	64,10	71,39	92,67	102,45	129,51	131,01	146,93	168,05	179,95	245,83	208,01	195,6
	HFC-32	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	6,1	5,5	8,0	28,2	311,9	3084,9	3011,1	2965,8	3179,8	3919,6	4479,0	8339,7	11428,8	16995,1	21395,5	28544
HFC-125	NO	NO	NO	NO	NO	3939,6	3465,0	6821,9	6543,9	5914,2	6333,8	7037,0	11043,9	13652,4	14403,5	15233,6	18255,4	25043,2	33386,7	52614,3	54015,2	63124,8	66705	
HFC-134a	3593,8	6320,1	8472,8	10795,2	12926,7	27339,8	31960,7	34301,5	39238,4	56194,7	53478,2	5927,3	67331,4	87541,2	96326,0	118461,2	122356,0	136921,1	157213,0	185678,6	230681,5	205565,9	20205:	
HFC-143a	NO	NO	NO	NO	NO	4643,9	3894,7	3811,9	4127,9	3835,3	4613,4	5321,0	6939,2	10834,8	11064,1	11223,2	14744,7	16452,6	22374,3	47352,3	35677,2	38826,2	43577	
HFC-152a	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2,8	4,3	8,2	10,3	11,3	13,1	13,3	11,3	16,3	13,9	14,0	11,9	10,1
HFC-23	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	2,1	4,7
Total (kg)	3593,8	6320,1	8472,8	10795,2	12926,7	35923,2	39320,4	44941,4	49915,8	65951,1	64456,4	72201,5	88407,7	115049,8	124770,5	148111,1	159288,9	182907,2	221330,1	297088,0	337383,0	328926,3	340891	
Total Gg CO ₂ eq.	4,67	8,22	11,01	14,03	16,80	64,22	66,05	78,18	85,02	104,19	104,81	117,51	146,83	195,16	209,52	241,37	268,76	313,55	388,30	576,07	597,75	605,46	633,6	

Cuadro C.2.10. Emisiones para la categoría 2.F.3

Año	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-125 (kg)	12,05	12,36	23,93	25,75	26,08	29,14	33,14	47,44	56,59	66,63	72,14	87,28	113,17	165,36	202,85	500,97	221,39	472,51	207,55
CO ₂ (Gg)	0,034	0,035	0,067	0,072	0,073	0,082	0,093	0,133	0,158	0,187	0,202	0,244	0,317	0,463	0,568	1,403	0,620	1,323	0,581

Cuadro C.2.11. Emisiones para la categoría 2.F.4

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-152a (ton)	0,383	0,641	0,877	1,068	0,796	0,826	0,765	0,289	0,343	1,649	2,870	2,339	2,391	1,613
CO ₂ (Gg)	0,054	0,090	0,123	0,150	0,111	0,116	0,107	0,041	0,048	0,231	0,402	0,327	0,335	0,226

Cuadro C.2.12. Emisiones para la categoría 2.F.6

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
HFC-152a ton	9,33	15,62	21,36	26,01	19,39	20,11	18,63	7,05	11,34	36,35	33,19	25,23	24,47	14,10
CO ₂ (Gg)	1,31	2,19	2,99	3,64	2,71	2,82	2,61	0,99	1,59	5,09	4,65	3,53	3,43	1,97

Cuadro C.2.13. Emisiones para la categoría 2.G.1b

Año	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
SF ₆ (kg)	26,27	29,42	37,40	36,66	37,21	36,98	36,38	42,51	41,01	46,80	52,42	51,10	57,01	56,46	62,24	62,58	65,89	68,56	71,77	70,53	72,60	72,90	73,30	73,37	52,00	81,00	57,00	16,40
CO ₂ (Gg)	0,628	0,703	0,894	0,876	0,889	0,884	0,869	1,016	0,980	1,119	1,253	1,221	1,363	1,349	1,487	1,496	1,575	1,639	1,715	1,686	1,735	1,742	1,732	1,754	1,243	1,936	1,362	0,392

C.3. Sector Residuos

Cuadro C.3.1 Emisiones de CH₄ para la categoría 4.A

Año	Desechos Alimentos (Gg)	Jardín (Gg)	Papel/cartón (Gg)	Madera (Gg)	Textil (Gg)	Desechos sanitarios (Gg)	Total Residuos sólidos municipales (Gg)	Residuos industriales (Gg)	Total residuos (Gg)	Recuperación de metano (Gg)	Emisiones totales (Gg)
1990	8,72	1,07	4,35	0,097	0,56	1,83	16,63	4,48	21,12	0,00	21,12
1991	8,98	1,10	4,49	0,100	0,58	1,89	17,13	4,62	21,75	0,00	21,75
1992	9,45	1,14	4,65	0,104	0,60	1,96	17,91	4,80	22,71	0,00	22,71
1993	10,06	1,20	4,85	0,109	0,62	2,06	18,91	5,04	23,95	0,00	23,95
1994	10,81	1,27	5,08	0,114	0,65	2,18	20,10	5,33	25,43	0,00	25,43
1995	11,67	1,35	5,34	0,119	0,69	2,32	21,48	5,67	27,15	0,00	27,15
1996	12,61	1,44	5,63	0,125	0,72	2,47	23,00	6,05	29,06	0,00	29,06
1997	13,61	1,54	5,95	0,132	0,77	2,65	24,66	6,48	31,13	0,00	31,13
1998	14,67	1,65	6,31	0,139	0,81	2,83	26,42	6,93	33,36	0,00	33,36
1999	15,78	1,77	6,70	0,147	0,86	3,04	28,29	7,43	35,72	0,00	35,72
2000	16,93	1,90	7,11	0,156	0,91	3,25	30,25	7,95	38,20	4,00	34,20
2001	18,11	2,03	7,56	0,165	0,97	3,47	32,30	8,50	40,80	5,00	35,80
2002	19,31	2,16	8,03	0,174	1,03	3,71	34,42	9,07	43,49	6,00	37,49
2003	20,52	2,30	8,52	0,185	1,10	3,95	36,57	9,66	46,24	7,00	39,24
2004	21,74	2,45	9,03	0,195	1,16	4,20	38,77	10,27	49,04	8,00	41,04
2005	22,97	2,60	9,57	0,207	1,23	4,45	41,02	10,89	51,92	9,00	42,92
2006	24,22	2,75	10,13	0,218	1,30	4,71	43,33	11,53	54,85	10,00	44,85
2007	25,48	2,90	10,71	0,231	1,38	4,98	45,68	12,18	57,86	11,00	46,86
2008	26,43	3,04	11,26	0,243	1,45	5,21	47,64	12,75	60,39	12,00	48,39
2009	27,16	3,16	11,79	0,254	1,52	5,42	49,30	13,26	62,57	13,00	49,57
2010	27,73	3,27	12,30	0,266	1,58	5,61	50,75	13,72	64,46	14,00	50,46
2011	28,19	3,37	12,78	0,277	1,64	5,77	52,02	14,12	66,14	15,00	51,14
2012	28,56	3,45	13,24	0,289	1,70	5,92	53,16	14,47	67,63	15,00	52,63
2013	28,85	3,52	13,67	0,299	1,76	6,04	54,14	14,78	68,93	15,00	53,93
2014	29,07	3,59	14,07	0,310	1,81	6,15	55,00	15,05	70,05	15,00	55,05
2015	29,26	3,65	14,46	0,320	1,86	6,25	55,80	15,29	71,09	15,00	56,09
2016	29,32	3,69	14,81	0,330	1,90	6,32	56,37	15,47	71,85	15,00	56,85
2017	29,27	3,72	15,12	0,339	1,94	6,38	56,77	15,60	72,37	15,00	57,37

Cuadro C.3.2 Emisiones de la categoría 4.B

Año	Emisiones CH ₄						Emisiones N ₂ O						Total emisiones CO ₂ eq (Gg)	
	Ton			Gg CO ₂ eq			Ton			Gg CO ₂ eq			CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)
	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)		
2006	1,54	0,0323	0,0323	0,12	0,0357	0,0357	0,12	0,0357	0,0357	0,0680	0,0680			
2007	1,54	0,0323	0,0323	0,12	0,0357	0,0357	0,12	0,0357	0,0357	0,0680	0,0680			
2008	1,54	0,0323	0,0323	0,12	0,0357	0,0357	0,12	0,0357	0,0357	0,0680	0,0680			
2009	1,54	0,0323	0,0323	0,12	0,0357	0,0357	0,12	0,0357	0,0357	0,0680	0,0680			
2010	1,54	0,0323	0,0323	0,12	0,0357	0,0357	0,12	0,0357	0,0357	0,0680	0,0680			
2011	1,54	0,0323	0,0323	0,12	0,0357	0,0357	0,12	0,0357	0,0357	0,0680	0,0680			
2012	2,06	0,0432	0,0432	0,15	0,0478	0,0478	0,15	0,0478	0,0478	0,0910	0,0910			
2013	2,06	0,0432	0,0432	0,15	0,0478	0,0478	0,15	0,0478	0,0478	0,0910	0,0910			
2014	5,90	0,1239	0,1239	0,44	0,1372	0,1372	0,44	0,1372	0,1372	0,2611	0,2611			
2015	10,18	0,2137	0,2137	0,76	0,2366	0,2366	0,76	0,2366	0,2366	0,4503	0,4503			
2016	12,44	0,2612	0,2612	0,93	0,2892	0,2892	0,93	0,2892	0,2892	0,5504	0,5504			
2017	15,32	0,3217	0,3217	1,15	0,3561	0,3561	1,15	0,3561	0,3561	0,6778	0,6778			

Cuadro C.3.3 Emisiones de la categoría 4.C

Año	Papel/cartón			Textil			Desechos Alimentos			Madera			Jardín			Desechos sanitarios (*)			Plástico			Emisiones CO ₂ eq (Gg)			
	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)				
	1990	0,0592	0,0437	0,0009	0,25	0,0094	0,0002	0,00	0,1249	0,0012	0,00	0,0062	0,0001	0,00	0,0125	0,0001	0,23	0,0250	0,0002	22,22	0,0906		0,0021	22,7557	0,3123
1991	0,064693	0,0478	0,0010	0,27	0,0102	0,0002	0,00	0,1365	0,0013	0,00	0,0068	0,0001	0,00	0,0136	0,0001	0,25	0,0273	0,0003	24,28	0,0989	0,0023	24,8591	0,3411	0,0052	33,65
1992	0,070472	0,0520	0,0011	0,29	0,0111	0,0002	0,00	0,1486	0,0014	0,00	0,0074	0,0001	0,00	0,0149	0,0001	0,27	0,0297	0,0003	26,45	0,1078	0,0025	27,0798	0,3716	0,0057	36,65
1993	0,076767	0,0567	0,0012	0,32	0,0121	0,0002	0,00	0,1619	0,0015	0,00	0,0081	0,0002	0,00	0,0162	0,0001	0,30	0,0324	0,0003	28,81	0,1174	0,0027	29,4989	0,4048	0,0062	39,93
1994	0,083456	0,0616	0,0013	0,35	0,0132	0,0002	0,00	0,1760	0,0016	0,00	0,0088	0,0002	0,00	0,0176	0,0002	0,32	0,0352	0,0003	31,32	0,1276	0,0029	32,0690	0,4401	0,0068	43,40
1995	0,090368	0,0667	0,0014	0,37	0,0143	0,0003	0,00	0,1906	0,0018	0,00	0,0095	0,0002	0,00	0,0191	0,0002	0,35	0,0381	0,0004	33,91	0,1382	0,0032	34,7254	0,4765	0,0073	47,00
1996	0,097467	0,0720	0,0015	0,40	0,0154	0,0003	0,00	0,2056	0,0019	0,00	0,0103	0,0002	0,00	0,0206	0,0002	0,38	0,0411	0,0004	36,58	0,1491	0,0034	37,4530	0,5140	0,0079	50,69
1997	0,104749	0,0773	0,0016	0,43	0,0166	0,0003	0,00	0,2210	0,0020	0,00	0,0110	0,0002	0,00	0,0221	0,0002	0,40	0,0442	0,0004	39,31	0,1602	0,0037	40,2515	0,5524	0,0085	54,48
1998	0,112237	0,0829	0,0017	0,46	0,0178	0,0003	0,00	0,2367	0,0022	0,00	0,0118	0,0002	0,00	0,0237	0,0002	0,43	0,0473	0,0004	42,12	0,1716	0,0040	43,1286	0,5919	0,0091	58,37
1999	0,119908	0,0885	0,0018	0,50	0,0190	0,0004	0,00	0,2529	0,0023	0,00	0,0126	0,0002	0,00	0,0253	0,0002	0,46	0,0506	0,0005	45,00	0,1834	0,0042	46,0762	0,6323	0,0097	62,36
2000	0,127697	0,0943	0,0020	0,53	0,0202	0,0004	0,00	0,2694	0,0025	0,00	0,0135	0,0003	0,00	0,0269	0,0002	0,49	0,0539	0,0005	47,92	0,1953	0,0045	49,0693	0,6734	0,0103	66,41

Cuadro C.3.3. (continuación) Emisiones de la categoría 4.C

Año	Papel/cartón			Textil			Desechos Alimentos			Madera			Jardín			Desechos sanitarios ^(e)						CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	Emisiones CO ₂ eq (Gg)
	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)				
2001	0,135435	0,1000	0,0021	0,56	0,0214	0,0004	0,00	0,2857	0,0026	0,00	0,0143	0,0003	0,00	0,0286	0,0003	0,00	0,0571	0,0005	0,0005	50,82	0,2071	0,0048	0,0110	70,44	
2002	0,143024	0,1056	0,0022	0,59	0,0226	0,0004	0,00	0,3017	0,0028	0,00	0,0151	0,0003	0,00	0,0302	0,0003	0,00	0,0603	0,0006	0,0006	53,67	0,2187	0,0050	0,0116	74,39	
2003	0,150715	0,1113	0,0023	0,62	0,0238	0,0004	0,00	0,3179	0,0029	0,00	0,0159	0,0003	0,00	0,0318	0,0003	0,00	0,0636	0,0006	0,0006	56,56	0,2305	0,0053	0,0122	78,39	
2004	0,158563	0,1171	0,0024	0,66	0,0251	0,0005	0,00	0,3345	0,0031	0,00	0,0167	0,0003	0,00	0,0334	0,0003	0,00	0,0669	0,0006	0,0006	59,50	0,2425	0,0056	0,0128	82,47	
2005	0,166546	0,1230	0,0026	0,69	0,0263	0,0005	0,00	0,3513	0,0032	0,00	0,0176	0,0003	0,00	0,0351	0,0003	0,00	0,0703	0,0006	0,0006	62,50	0,2547	0,0059	0,0135	86,62	
2006	0,174670	0,1290	0,0027	0,72	0,0276	0,0005	0,00	0,3684	0,0034	0,00	0,0184	0,0004	0,00	0,0368	0,0003	0,00	0,0737	0,0007	0,0007	65,55	0,2671	0,0062	0,0141	90,84	
2007	0,176495	0,1303	0,0027	0,73	0,0279	0,0005	0,00	0,3723	0,0034	0,00	0,0186	0,0004	0,00	0,0372	0,0003	0,00	0,0745	0,0007	0,0007	66,23	0,2699	0,0062	0,0143	91,79	
2008	0,178259	0,1316	0,0027	0,74	0,0282	0,0005	0,00	0,3760	0,0035	0,00	0,0188	0,0004	0,00	0,0376	0,0003	0,00	0,0752	0,0007	0,0007	66,89	0,2726	0,0063	0,0144	92,71	
2009	0,179844	0,1328	0,0028	0,74	0,0285	0,0005	0,00	0,3794	0,0035	0,00	0,0190	0,0004	0,00	0,0379	0,0004	0,00	0,0759	0,0007	0,0007	67,49	0,2750	0,0063	0,0146	93,54	
2010	0,181258	0,1338	0,0028	0,75	0,0287	0,0005	0,00	0,3823	0,0035	0,00	0,0191	0,0004	0,00	0,0382	0,0004	0,00	0,0765	0,0007	0,0007	68,02	0,2772	0,0064	0,0147	94,27	
2011	0,182564	0,1348	0,0028	0,76	0,0289	0,0005	0,00	0,3851	0,0036	0,00	0,0193	0,0004	0,00	0,0385	0,0004	0,00	0,0770	0,0007	0,0007	68,51	0,2792	0,0064	0,0148	94,95	
2012	0,183217	0,1353	0,0028	0,76	0,0290	0,0005	0,00	0,3865	0,0036	0,00	0,0193	0,0004	0,00	0,0386	0,0004	0,00	0,0773	0,0007	0,0007	68,75	0,2802	0,0065	0,0148	95,29	
2013	0,183690	0,1356	0,0028	0,76	0,0291	0,0005	0,00	0,3875	0,0036	0,00	0,0194	0,0004	0,00	0,0387	0,0004	0,00	0,0775	0,0007	0,0007	68,93	0,2809	0,0065	0,0149	95,54	
2014	0,184641	0,1363	0,0028	0,76	0,0292	0,0005	0,00	0,3895	0,0036	0,00	0,0195	0,0004	0,00	0,0389	0,0004	0,00	0,0779	0,0007	0,0007	69,29	0,2824	0,0065	0,0149	96,03	
2015	0,183158	0,1352	0,0028	0,76	0,0290	0,0005	0,00	0,3863	0,0036	0,00	0,0193	0,0004	0,00	0,0386	0,0004	0,00	0,0773	0,0007	0,0007	68,73	0,2801	0,0065	0,0148	95,26	
2016	0,181548	0,1340	0,0028	0,75	0,0287	0,0005	0,00	0,3829	0,0035	0,00	0,0191	0,0004	0,00	0,0383	0,0004	0,00	0,0766	0,0007	0,0007	68,13	0,2776	0,0064	0,0147	94,42	
2017	0,179809	0,1327	0,0028	0,74	0,0284	0,0005	0,00	0,3793	0,0035	0,00	0,0190	0,0004	0,00	0,0379	0,0004	0,00	0,0759	0,0007	0,0007	67,48	0,2750	0,0063	0,0146	93,52	

Cuadro C.3.4 Emisiones de CH₄ de tratamiento de aguas residuales domésticas en la categoría 4.D

Año	Emisiones de metano (CH ₄) Gg					Total CO ₂ eq
	Tanque séptico	Sistema centralizado con PTAR	Alcantarillado sin PTAR	Letrina	Total	
1990	18,25	2,25	0,70	0,58	21,78	457,46
1991	18,67	2,30	0,71	0,60	22,29	468,02
1992	19,12	2,36	0,73	0,61	22,83	479,40
1993	19,66	2,43	0,75	0,63	23,47	492,81
1994	20,23	2,50	0,77	0,65	24,15	507,18
1995	20,80	2,57	0,80	0,67	24,83	521,39
1996	21,35	2,64	0,82	0,68	25,49	535,25
1997	21,89	2,70	0,84	0,70	26,13	548,80
1998	22,43	2,77	0,86	0,72	26,77	562,19
1999	22,95	2,83	0,88	0,73	27,40	575,33
2000	23,45	2,89	0,90	0,75	28,00	587,95
2001	23,91	2,95	0,92	0,77	28,54	599,36
2002	24,31	3,00	0,93	0,78	29,01	609,29
2003	24,69	3,05	0,95	0,79	29,47	618,92
2004	25,07	3,09	0,96	0,80	29,93	628,50
2005	25,45	3,14	0,97	0,81	30,38	637,96
2006	25,82	3,19	0,99	0,83	30,83	647,33
2007	26,20	3,23	1,00	0,84	31,27	656,76
2008	26,57	3,28	1,02	0,85	31,72	666,05
2009	26,92	3,32	1,03	0,86	32,13	674,74
2010	27,24	3,36	1,04	0,87	32,52	682,86
2011	27,55	3,40	1,05	0,88	32,89	690,64
2012	27,85	3,44	1,07	0,89	33,25	698,23
2013	28,13	3,47	1,08	0,90	33,58	705,25
2014	28,49	3,52	1,09	0,91	34,01	714,22
2015	28,84	3,56	1,10	0,92	34,43	723,06
2016	29,19	3,60	1,12	0,93	34,85	731,77
2017	29,53	3,65	1,13	0,95	35,25	740,31

Cuadro C.3.5 Emisiones de N₂O de tratamiento de aguas residuales domésticas en la categoría 4.D

Año	Emisiones totales de N ₂ O	
	(Gg)	Gg CO ₂ eq
1990	0,1196	37,07
1991	0,1224	37,93
1992	0,1253	38,85
1993	0,1288	39,94
1994	0,1326	41,10
1995	0,1363	42,25
1996	0,1399	43,38
1997	0,1435	44,48
1998	0,1470	45,56
1999	0,1504	46,62
2000	0,1537	47,65
2001	0,1567	48,57
2002	0,1593	49,38
2003	0,1618	50,16
2004	0,1643	50,93
2005	0,1668	51,70
2006	0,1692	52,46
2007	0,1717	53,22
2008	0,1741	53,98
2009	0,1764	54,68
2010	0,1785	55,34
2011	0,1805	55,97
2012	0,1825	56,59
2013	0,1844	57,15
2014	0,1867	57,88
2015	0,1890	58,60
2016	0,1913	59,30
2017	0,1935	60,00

Cuadro C.3.6 Emisiones de CH₄ de tratamiento de aguas residuales industriales en la categoría 4.D

Año	Bovinos		Porcinos		Aves		Beneficiado de café		Ingenios		Palma aceitera		Total	
	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CH ₄ (Gg)	Total CO ₂ eq (Gg)
1990	0,237	0,026	0,047	1,918	0,009	0,044	2,282	47,91						
1991	0,254	0,032	0,052	2,058	0,010	0,039	2,446	51,36						
1992	0,219	0,035	0,055	2,184	0,011	0,048	2,551	53,58						
1993	0,222	0,035	0,057	2,044	0,011	0,049	2,418	50,77						
1994	0,258	0,042	0,060	1,991	0,011	0,063	2,426	50,94						
1995	0,253	0,043	0,066	1,967	0,013	0,065	2,408	50,58						
1996	0,261	0,037	0,072	2,032	0,012	0,056	2,470	51,87						
1997	0,233	0,039	0,069	1,752	0,014	0,065	2,173	45,63						
1998	0,222	0,045	0,072	2,041	0,014	0,059	2,453	51,52						
1999	0,228	0,053	0,082	1,956	0,013	0,066	2,398	50,36						
2000	0,223	0,057	0,080	2,016	0,013	0,081	2,470	51,86						
2001	0,201	0,065	0,085	1,846	0,013	0,089	2,299	48,29						
2002	0,185	0,066	0,084	1,723	0,013	0,076	2,148	45,10						
2003	0,200	0,066	0,079	2,272	0,015	0,077	2,709	56,90						
2004	0,189	0,070	0,093	1,330	0,014	0,089	1,786	37,50						
2005	0,218	0,071	0,100	1,579	0,014	0,104	2,086	43,81						
2006	0,204	0,075	0,108	1,269	0,012	0,116	1,785	37,48						
2007	0,219	0,088	0,121	1,521	0,016	0,110	2,075	43,57						
2008	0,237	0,092	0,117	1,407	0,014	0,115	1,981	41,61						
2009	0,251	0,091	0,121	1,148	0,014	0,120	1,745	36,65						
2010	0,264	0,085	0,116	1,221	0,014	0,131	1,831	38,45						
2011	0,260	0,095	0,110	1,257	0,013	0,140	1,875	39,38						
2012	0,237	0,100	0,131	1,592	0,015	0,148	2,222	46,66						
2013	0,230	0,099	0,132	0,973	0,017	0,174	1,624	34,11						
2014	0,239	0,101	0,136	1,215	0,017	0,118	1,825	38,33						
2015	0,222	0,106	0,137	1,138	0,016	0,109	1,727	36,27						
2016	0,197	0,111	0,141	1,290	0,016	0,145	1,900	39,90						
2017	0,211	0,111	0,146	1,236	0,016	0,146	1,866	39,19						

Anexo D: Lista de chequeo

Cuadro D. 1. Lista de chequeo

Item	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	1996	1995	1994	1993	1992	1991	1990
Revisión del consumo de residuos vegetales y madera	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Quitar carbón vegetal en carboneras	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Restar CO ₂ biogénico del biogás	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar factores de emisión de CO ₂ nacionales en combustión estacionaria	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar factores de emisión de CO ₂ para transporte marítimo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar consumo propio del blanca de energía para refinamiento de petróleo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar que Fuel oil e IFO 380 estén bien contabilizados por tipo de combustible.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar controles de combustión estacionaria y móvil	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar uso de etanol en gasolina	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Método de referencia	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar fugitivas 2005-2011 con refinamiento IPCC 2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Anexo E: Método de Monte Carlo

El Método 2 o método de Monte Carlo es un método de estimación, no sólo de incertidumbres sino de estimación de cálculos completos.

Este método comprende un nivel de desagregación mayor incluyendo correlaciones de las variables y considerando que las emisiones y los datos de actividad no son valores únicos o absolutos, sino que son una distribución de valores dentro de la cual se encuentra el valor real y que son representadas por una media y su respectiva incertidumbre asociada (Blanco, 2017).

El nivel de desagregación realizado es muy detallado, ya que incluyó información por subcategorías, categorías y para cada sector completo considerando todos los combustibles consumidos y por gas para dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), HFCs, SF₆ y dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq) (Blanco, 2017).

El IPCC (2006) define 5 suposiciones clave del Método 2, a saber:

- Las incertidumbres son grandes.
- Su distribución no es Gaussiana.
- Los algoritmos son funciones complejas.
- Hay correlaciones entre algunos de los conjuntos de datos de actividad, factores de emisión o ambos.
- Las incertidumbres son diferentes para todos los años del inventario.

Para este estudio se obvió la última ya que, como se mencionó, se está analizando únicamente un año y no la tendencia.

Contrario al método de propagación de error donde el análisis de incertidumbre se puede realizar posterior al cálculo de las emisiones, las incertidumbres utilizando el Método de Monte Carlo deben ser determinadas simultáneamente con las emisiones. En general, las emisiones fueron determinadas por la multiplicación de un factor de emisión por el dato de actividad, tal como se muestra en la ecuación E.1. Los datos de actividad utilizados fueron los mismos del Inventario Nacional de Emisiones de 2017 y las ecuaciones utilizadas también.

Una vez que se obtuvieron los valores de los factores de emisión y de datos de actividad, se procedió a especificar las incertidumbres, así como definir las funciones de densidad de probabilidad para todos los datos de entrada.

Todos estos parámetros serán entradas del modelo de cálculo.

La segunda etapa consistió en tomar valores aleatorios dentro de cada función de densidad de probabilidad para cada variable y evaluar las emisiones correspondientes (emisiones por fuente, suma para obtener los valores por subsector y la suma para el sector energía completo). Este proceso se realiza un número definido de repeticiones generando con los valores de emisiones obtenidos una distribución, de donde se podrán obtener las incertidumbres asociadas, así como la función de densidad de probabilidad que siguen las emisiones.

La Figura E.1 muestra de manera resumida el proceso de estimación de incertidumbres siguiendo el Método de Monte Carlo.

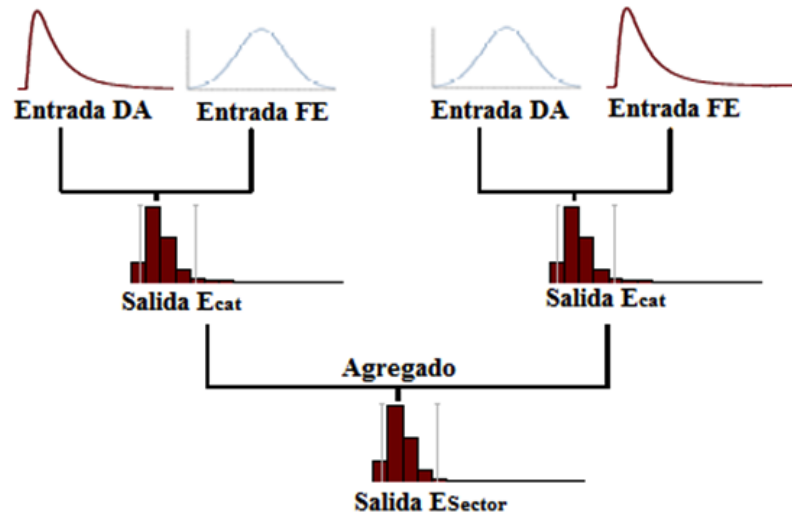


Figura E. 1. Esquema del proceso de estimación de emisiones usando el Método de Monte Carlo.

Fuente: Ramírez et al (2006)

Para realizar la simulación del proceso para este caso específico, se usaron 50000 iteraciones utilizando un muestreo aleatorio y eligiendo el valor inicial generador de la simulación de manera aleatoria.

Estudios similares realizados en otros países como en los Países Bajos descrito por Ramírez (2006) compararon las incertidumbres calculadas con el método 1 con las desviaciones estándar (2σ) obtenidas en el método de Monte Carlo. Sin embargo, en este trabajo se compararon tomando el intervalo de confianza como el comprendido entre los percentiles 2,5% y 97,5% de las distribuciones obtenidas con Monte Carlo, tal como establecen Monni et al (2004) para el caso de Finlandia.

Anexo F: Etanol en gasolina

Entre 2006 y 2012 RECOPE implementó un plan piloto en el que se mezclaba etanol con gasolina. En el Balance Nacional de Energía la energía reportada en gasolinas ya incluye la energía del etanol; sin embargo, la cantidad de etanol suministrado se reporta en esos balances como transferencias. Por esto, se realiza la resta de las emisiones totales de vehículos las emisiones de CO₂ del etanol transferido, ya que las mismas son biogénicas y ya estaban siendo contabilizadas.

Anexo G: Balance Nacional de Energía para el último año de inventario (2017), en Terajulios utilizando Poder Calórico Neto

BALANCE ENERGÉTICO NACIONAL DE COSTA RICA PERIODO 2017

Table with columns for Energy Primary (Energía Primaria), Energy Secondary (Energía Secundaria), and Total. Rows include Offer (Oferta), Conversion Centers (Centros de transformación), and Final Consumption (Consumo final).

Elaborado por: Secretaría Ejecutiva de Planificación del Subsector Energía, utilizando el método de balances de energía.
Simbología: CM Carbono mineral, LE Leña, RY(*) Residuos vegetales, BG Bagaço, LE Leña, RY(*) Residuos vegetales, BG Bagaço, CC Cascavilla de café, ORV Otros residuos veget, PT Pátalo, HE Hidroenergía, GEO Geotermia, EOL Energía Eólica, BKG Biogás, SOL Energía solar, CK Conque, CV Carbono vegetal, LPG Gas licuado, GR Gasolina regular, GS Gasolina súper, AVG Av gas, ME Kerosene, NFP Nafte pasada, AVG Av gas, ME Kerosene, JF Jet fuel, DO Diesel, GO Gasóleo, IF380 No 380, FO Fiel oil, EAS Emulsiones asfálticas, ASF310 Asfalto, OH Alcohol, EE Energía eléctrica, Total secundaria s, Total

Anexo H: Corrección del consumo de madera en carboneras del balance nacional de energía

Anexo H: Corrección del consumo de madera en carboneras del balance nacional de energía

El consumo de madera en carboneras dentro del balance de energía corresponde a la cantidad de madera (en TJ) utilizada para la fabricación de carbón vegetal, por lo que las emisiones asociadas se contabilizan dentro de la categoría fabricación de combustibles sólidos (1.A.1c).

De acuerdo con la SEPSE e indicado por la FAO (<http://www.fao.org/3/x5331s/x5331s0g.htm>) para poder estimar la cantidad de madera consumida en las carboneras se parte de la producción total de carbón en toneladas y, se utiliza la relación indicada en la referencia de que para producir un kilogramo de carbón vegetal se requieren 4 kg de madera. Una vez aplicada esa relación la cantidad de madera en unidades de masa se transforma a unidades de energía (TJ) utilizando el poder calórico neto empleado por SEPSE. Sin embargo, durante una revisión aleatoria del balance de energía de 2016, el equipo de inventario notó que se estaba empleando una relación de 1 TJ de carbón vegetal producido equivale a 4 TJ de madera consumida, lo cual no es correcto ya que la relación masa/masa es distinta de una relación energía/energía. Esto porque la última involucra los poderes calóricos netos en este caso del carbón vegetal y l madera los cuales son distintos.

Por lo anterior, se le notificó y conversó con la SEPSE sobre el hallazgo e indicaron que efectivamente la relación fue mal empleada y que se debía realizar la corrección para todos los balances del período 2005-2017. Como no estaba prevista una actualización inmediata de los balances de energía por parte de SEPSE, el equipo de inventario, para asegurar exactitud, procedió con la corrección de los valores de madera mediante la ecuación H.1 en donde el poder calórico neto de la madera (18 TJ/Gg) y del carbón vegetal (27,21 TJ/Gg) son los empleados por SEPSE.

$$\text{Consumo madera carboneras corregido} = \frac{\text{Consumo madera carboneras balance} * \text{PCN}_{\text{madera, SEPSE}}}{\text{PCN}_{\text{carbón vegetal, SEPSE}}} \quad (\text{H.1})$$

Donde:

Consumo madera carboneras corregido: TJ.

Consumo madera carboneras balance: Cantidad de madera reportada con error en los balances de energía, (TJ).

$\text{PCN}_{\text{madera, SEPSE}}$: Poder calórico neto de la madera utilizado por SEPSE en los balances de energía, 18 TJ/Gg.

$\text{PCN}_{\text{carbón vegetal, SEPSE}}$: Poder calórico neto del carbón vegetal utilizado por SEPSE en los balances de energía, 27,21 TJ/Gg.

Los datos reportados en los balances y los corregidos (utilizados en este inventario) se indican en el Cuadro H.1 a continuación.

Cuadro H. 1. Datos de consumo de madera corregidos para carboneras en el período 2005-2017.

Descripción/Año	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Consumo balance de energía	160,3	179,0	195,9	205,5	145,1	167,2	129,3	142,3	153,2	188,0	227,4	178,3	110,9
Consumo corregido	106,0	118,4	129,6	135,9	96,0	110,6	85,6	94,2	101,3	124,4	150,4	118,0	73,3

Anexo I: Determinación del factor de emisión de CO₂ país específico para la madera y el bagazo de caña de azúcar.

Debido al alto consumo de biomasa para uso energético en el país, como parte de la Cuarta Comunicación Nacional ante la CMNUCC, se realizó un estudio de los parámetros energéticos de distintas biomásas en el país. Entre los datos determinados por el Laboratorio Ideas de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica (2020) se encuentran los datos de poder calórico neto, humedad y cantidad de carbono en base seca, entre otros. Para la madera se realizó un análisis de esos parámetros en 10 sitios y se obtuvo el promedio tal como se indica en el Cuadro I.1, mientras que para el bagazo los datos obtenidos se encuentran en el Cuadro I.2.

Cuadro I. 2. Parámetros estimados para la leña

Sitio	Contenido de carbono (%m/m) Base seca	Humedad (%m/m)	Poder calórico (MJ/kg)
L1	47,507	14,1	16,36
L2	47,227	14,1	16,71
L3	47,925	16,4	15,64
L4	47,181	25,6	13,62
L5	51,964	13,1	16,05
L6	53,156	14,8	14,41
L7	48,151	12,8	16,1
L8	48,445	27,1	12,86
L9	47,597	14,8	15,53
L10	47,896	14,1	15,86
Promedio	48,705	16,69	15,31
Nota: %m/m corresponde a la masa de carbono o agua entre la masa total de madera expresado como porcentaje			

Fuente: Escuela de Ingeniería Química, UCR (2020)

Cuadro I. 3. Parámetros estimados para el bagazo

Sitio	Contenido de carbono (%m/m) Base seca	Humedad (%m/m)	Poder calórico (MJ/kg)
B1	45,609	50,9	7,01
B2	44,839	49,3	6,47
B3	45,61	48,2	7,00
B4	44,245	47,8	7,03
B5	43,837	51,9	5,65
B6	44,218	29,6	8,75
B7	43,243	41,6	7,49
Promedio	44,514	45,61	7,06
Nota: %m/m corresponde a la masa de carbono o agua entre la masa total de madera expresado como porcentaje			

Fuente: Escuela de Ingeniería Química, UCR (2020)

Como se observa en los cuadros anteriores el porcentaje de carbono en las dos biomásas se determinó en base seca; es decir no tomó en cuenta el agua presente, por lo que como primer paso para determinar el factor de emisión de CO₂ se determinó el contenido de carbono en base húmeda para ambas biomásas utilizando la ecuación I.1.

$$\%CC_{BH} = \frac{\%CC_{BS}}{1 + \frac{\frac{\%H}{100}}{1 - \frac{\%H}{100}}} \quad (I.1)$$

Donde:

$\%CC_{BH}$: cantidad de carbono en base húmeda, %m/m.

$\%CC_{BS}$: cantidad de carbono en base seca, %m/m.

$\%H$: Porcentaje de humedad, %.

Una vez que se estimó el $\%CC_{BH}$ se calculó la cantidad de carbono expresada como la relación de masa de carbono por cantidad de energía de la biomasa, para esto se utilizó la ecuación I.2.

$$CC = \frac{\%CC_{BH}}{PCN} * 10000 \quad (I.2)$$

Donde:

CC: cantidad de carbono, kg C/TJ.

$\%CC_{BH}$: cantidad de carbono en base húmeda, %m/m.

PCN: poder calórico neto, MJ/kg.

El último paso consistió en estimar el factor de emisión asumiendo que todo el carbono de la biomasa se oxida, para esto se utilizó la ecuación I.3.

$$FE = CC * \frac{44}{12} \quad (I.3)$$

Donde:

FE: factor de emisión, kg CO₂/TJ.

CC: CC: Cantidad de carbono, kg C/TJ.

44/12: relación de masas moleculares del CO₂ y el C.

Los resultados obtenidos para el % de carbono en base húmeda, la cantidad de carbono y el factor de emisión se encuentran en el Cuadro I.3 para la leña y en el Cuadro I.4 para el bagazo.

Cuadro I. 4. Parámetros intermedios y factor de emisión para la leña.

Sitio	Contenido de carbono (%m/m) Base húmeda	CC (kg C/TJ)	FE (kg CO ₂ /TJ)
L1	40,809	24944,1	91461,6
L2	40,568	24277,7	89018,1
L3	40,065	25617,2	93929,7
L4	35,103	25772,9	94500,6
L5	45,157	28135,0	103161,8
L6	45,289	31428,8	115239,0
L7	41,988	26079,3	95624,1
L8	35,316	27462,2	100694,8
L9	40,553	26112,5	95745,7
L10	41,143	25941,2	95117,6
Promedio	40,576	26496,1	97449,3

Cuadro I. 5. Parámetros intermedios y factor de emisión para el bagazo.

Sitio	Contenido de carbono (%m/m) Base húmeda	CC (kg C/TJ)	FE (kg CO ₂ /TJ)
B1	22,394	31945,8	117134,7
B2	22,733	35136,6	128834,2
B3	23,626	33751,4	123755,1
B4	23,096	32853,3	120462,2
B5	21,086	37319,6	136838,7
B6	31,129	35576,5	130447,3
B7	25,254	33716,8	123628,4
Promedio	24,188	34328,6	125871,5

Anexo J: Ajuste de los datos de actividad de consumo de madera para la aplicación del factor de emisión país específico

Como se indica en el informe y en el Anexo H, el poder calórico neto de la leña utilizado por SEPSE (18 TJ/Gg) es 15,4 % mayor al valor por defecto de las *Directrices del IPCC de 2006* (15,6 TJ/Gg de madera) y 17,5 % mayor que el valor nacional determinado por la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica (2020) indicado en el Cuadro 5 y en el Cuadro I.1 (15,314 TJ/Gg de madera). Este fue utilizado para calcular el factor de emisión nacional empleado en este inventario (97 449,29 kg CO₂/TJ de madera).

Para asegurar consistencia entre el factor de emisión de CO₂ país específico y el dato de actividad, fue necesario estimar el consumo de leña en TJ utilizando también el poder calórico país específico para toda la serie 1990-2017, esto utilizando la ecuación J.1.

$$\text{Consumo madera ajustado} = \text{Consumo madera original balance de energía} * \frac{\text{PCN}_{\text{país específico}}}{\text{PCN}_{\text{SEPSE}}} \quad (\text{J.1})$$

Donde:

Consumo de madera ajustado: consumo de madera utilizado para la estimación de emisiones de CO₂, TJ.

Consumo de madera original balance de energía: Consumo de madera reportado por SEPSE en el balance de energía, TJ.

PCN_{país específico}: poder calórico neto estimado media análisis país, 15,31TJ/Gg de madera.

PCN_{SEPSE}: poder calórico neto utilizado por SEPSE, 18 TJ/Gg de madera.

Los datos corregidos utilizados para la serie completa se encuentran como consumo de madera en los cuadros 68 y B.7.

Anexo K. Hojas de cheques general y detallado por categoría para Control de la Calidad.

369

Cuadro K.1. Lista de verificación de control de calidad general

A1. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CC GENERAL

Informe del inventario:

Categoría de fuente/sumidero

Título(s) y fecha(s) de la(s) hoja(s) de cálculo del inventario:

Estimaciones de la categoría de fuente (sumidero) confeccionadas por (nombre/organización):

Resumen de los controles generales de CC y medidas correctivas

Resumen de los resultados de los controles y las medidas correctivas tomadas:

Controles sugeridos para realizar en el futuro:	Cualquier problema residual después de haber tomado las medidas correctivas:
---	--

Lista de verificación para controles generales de CC (completar el cuadro para cada categoría):

Elemento	Control efectuado			Medida correctiva		Documentos de respaldo (incluir referencia)
	Fecha	Persona (inicial, apellido)	Errores (S/N)	Fecha	Persona (inicial, apellido)	
ACTIVIDADES DE RECOPIACIÓN, ENTRADA Y GESTIÓN DE DATOS: CONTROLES DE CALIDAD						
1. Controlar una muestra de datos de entrada para detectar errores de transcripción						
2. Revisar las hojas de cálculo con controles informáticos e informes de control de calidad						
3. Identificar las modificaciones de la hoja de cálculo que pueden aportar controles extra a la calidad						
4. Otros (especificar)						

Cuadro K.1. (continuación) Lista de verificación de control de calidad general

Elemento	Control efectuado			Medida correctiva		Documentos de respaldo (incluir referencia)
	Fecha	Persona (inicial, apellido)	Errores (S/N)	Fecha	Persona (inicial, apellido)	
DOCUMENTACIÓN DE DATOS: CONTROLES DE CALIDAD						
5. Controlar la exhaustividad del archivo del proyecto						
6. Confirmar que las referencias de los datos bibliográficas estén incluidas (en la hoja de cálculo) para cada dato primario						
7. Verificar que todas las citas adecuadas de las hojas de cálculo aparezcan en el documento del inventario						
8. Verificar que todas las citas de las hojas de cálculo y del inventario estén completas (es decir, que incluyan toda la información pertinente)						
9. Verificar aleatoriamente las citas bibliográficas para detectar errores de transcripción						
10. Verificar que los originales de las citas nuevas estén en la presentación de la lista actual de casos						
11. Verificar aleatoriamente que los originales de las citas (Informes de contacto inclusive) posean el material y el contenido referidos						
12. Verificar que las hipótesis y los criterios para la selección de los datos de la actividad, factores de emisión y otros parámetros de estimación queden documentados.						
13. Controlar que se documenten los cambios en los datos o en la metodología						
14. Controlar que las citas de las hojas de cálculo y el documento del inventario respetan las directrices de estilo aceptables						
15. Otros (especificar):						

Cuadro K.1. (continuación) Lista de verificación de control de calidad general

Elemento	Control efectuado			Medida correctiva		Documentos de respaldo (incluir referencia)
	Fecha	Persona (inicial, apellido)	Errores (S/N)	Fecha	Persona (inicial, apellido)	
CÁLCULO DE EMISIONES Y VERIFICACIÓN DE LOS CÁLCULOS						
16. Verificar que estén incluidos todos los cálculos (en vez de presentar únicamente los resultados)						
17. Verificar si las unidades, los parámetros y los factores de conversión se presentan adecuadamente						
18. Controlar que se mantengan las unidades correctamente y bien identificadas desde el comienzo hasta el final de los cálculos						
19. Controlar que los factores de conversión sean correctos						
20. Controlar que se usen correctamente los factores de ajuste temporal y espacial						
21. Controlar las relaciones de los datos (comparabilidad) y los pasos para su procesamiento (p. ej. ecuaciones) en las hojas de cálculo						
22. Controlar que los datos de entrada y los datos calculados de la hoja de cálculo estén bien diferenciados						
23. Controlar una muestra representativa de los cálculos, en forma manual o electrónica						
24. Verificar algunos cálculos con cálculos abreviados						
25. Controlar la agregación de datos dentro de una categoría						
26. Si se modificaron los métodos o los datos, verificar la coherencia de las entradas de la serie temporal y los cálculos						
27. Contrastar las estimaciones del año actual con las de años anteriores (si están disponibles) e investigar las divergencias no explicadas de la tendencia						
28. Controlar el valor de los factores implícitos de emisión/absorción en toda la serie temporal e investigar valores erráticos no justificados						
29. Controlar la existencia de tendencias no justificadas o inusuales para los datos de la actividad u otros parámetros de cálculo de la serie temporal						
30. Verificar la coherencia con las directrices del inventario del IPCC y las buenas prácticas, en particular si hay cambios						
31. Otros (especificar):						

Cuadro K.2. Lista de verificación de control de calidad por categoría**A2. LISTA DE VERIFICACIÓN DE CC
ESPECÍFICO DE LA CATEGORÍA**

Informe del inventario:

Categoría de fuente/sumidero

Categoría principal o la incluye (si/no)

Título(s) y fecha(s) de la(s) hoja(s) de cálculo del inventario:

Estimaciones de la categoría de fuente (sumidero) confeccionadas por
(nombre/organización):**Resumen de las actividades de CC específico
de la categoría**

Resumen de los resultados de los controles y las medidas correctivas tomadas:

Controles sugeridos para realizar en el futuro:	Cualquier problema residual después de haber tomado las medidas correctivas:
---	--

Lista de verificación específica de la categoría – Parte A: Recopilación y selección de datos

Elemento	Control efectuado			Medida correctiva		Documentos de respaldo (incluir referencia)
	Fecha	Persona (inicial, apellido)	Errores (S/N)	Fecha	Persona (inicial, apellido)	
CONTROLES DE CALIDAD DE LOS DATOS DE EMISIÓN						
1. Comparaciones de emisiones: datos históricos para categorías de fuente, subfuente significativa						
2. Contraste con las estimaciones independientes o las estimaciones basadas en métodos alternativos						
3. Cálculos de referencia						
4. Exhaustividad						
5. Otros (especificar)						

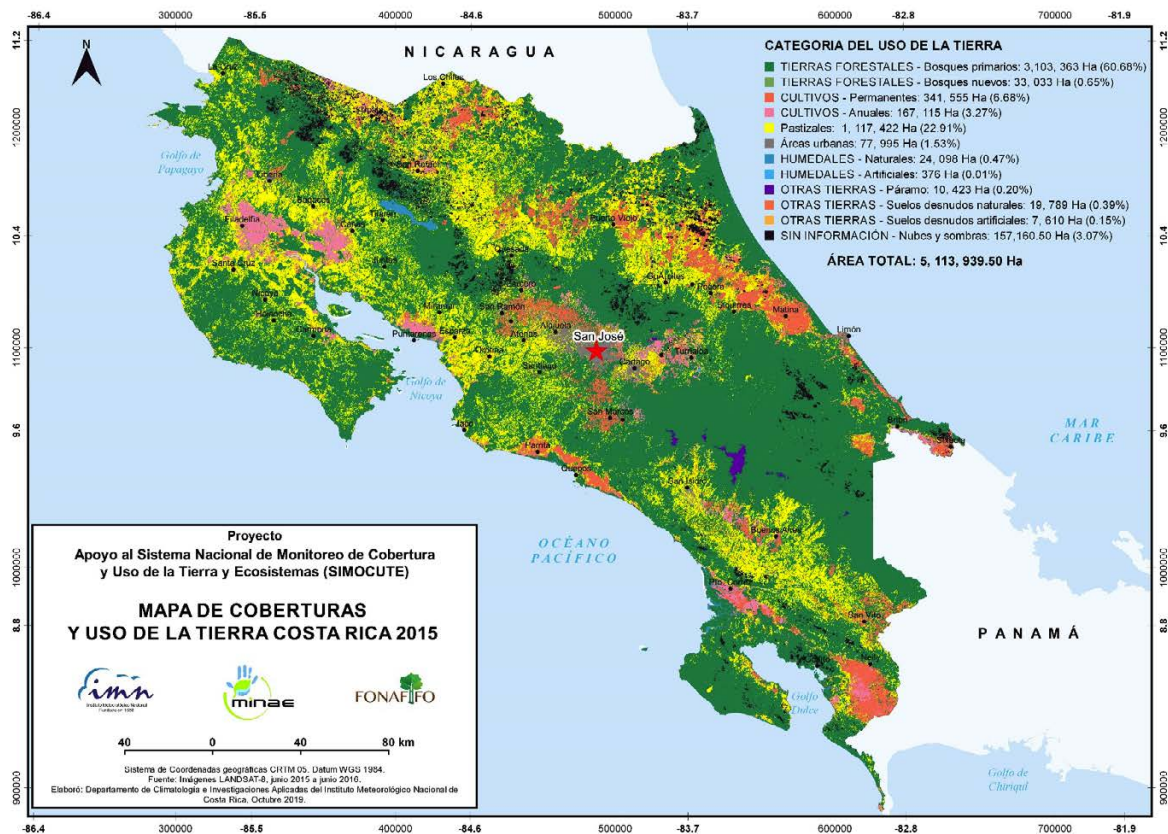
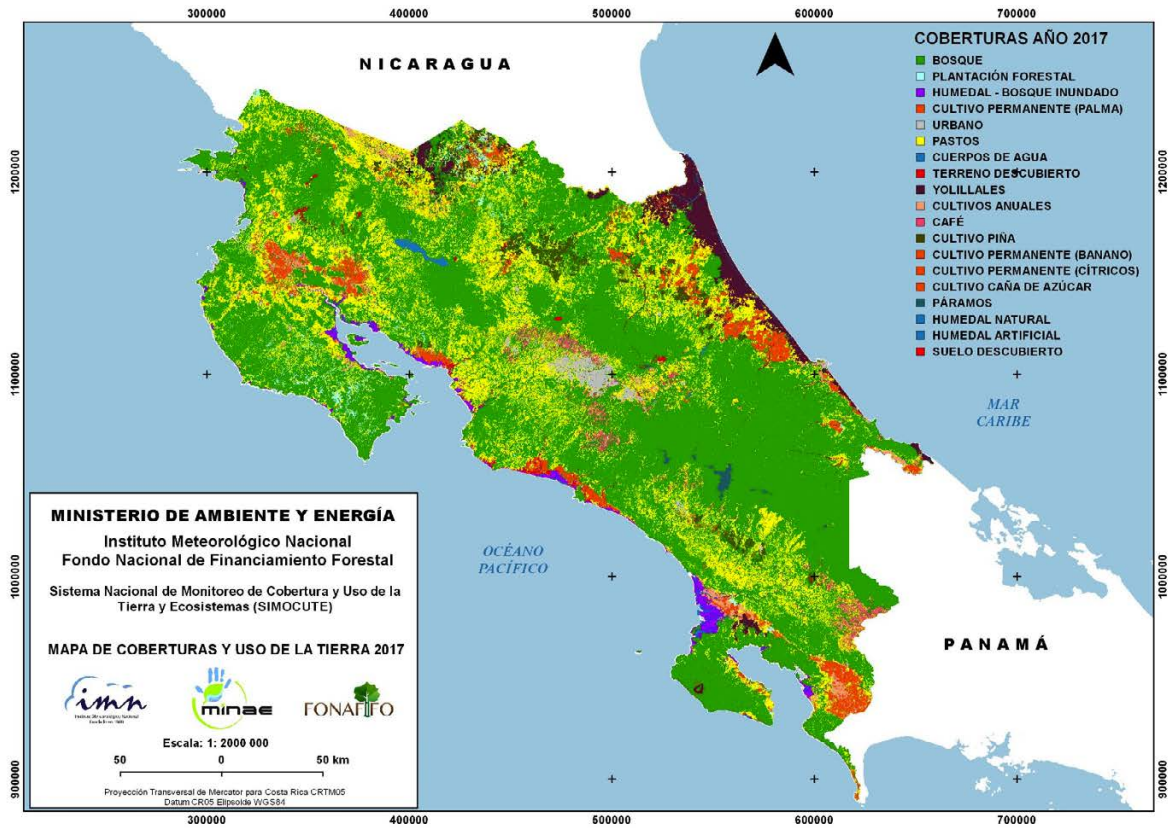
Cuadro K.3. (continuación) Lista de verificación de control de calidad por categoría

Lista de verificación específica de la categoría – Parte A: Recopilación y selección de datos						
Elemento	Control efectuado			Medida correctiva		Documentos de respaldo (incluir referencia)
	Fecha	Persona (inicial, apellido)	Errores (S/N)	Fecha	Persona (inicial, apellido)	
CONTROL DE CALIDAD DEL FACTOR DE EMISIÓN						
6. Evaluar la representatividad de los factores de emisión, dadas las circunstancias nacionales y los datos de emisión análogos						
7. Comparar con los factores alternativos (p. ej., los factores por defecto del IPCC, los de todo el país, la bibliografía)						
8. Buscar opciones de datos más representativos						
9. Otros (controles detallados)						
CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD: DATOS DE LA ACTIVIDAD EN EL NIVEL NACIONAL						
10. Verificar las tendencias históricas						
11. Comparar múltiples fuentes de referencia						
12. Verificar la aplicabilidad de los datos						
13. Controlar la metodología para completar los datos de la serie temporal que no están disponibles anualmente						
14. Otros (controles detallados)						
CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD: DATOS DE LA ACTIVIDAD ESPECÍFICOS DEL SITIO						
15. Controlar la existencia de incoherencias en todos los sitios						
16. Comparar los datos nacionales y agregados						
17. Otros (controles detallados)						

Cuadro K.4. Parte B: Datos secundarios y medición directa de las emisiones

Lista de verificación específica de la categoría – Parte B: Datos secundarios y medición directa de las emisiones						
Elemento	Control efectuado			Medida correctiva		Documentos de respaldo (incluir referencia)
	Fecha	Persona (inicial, apellido)	Errores (S/N)	Fecha	Persona (inicial, apellido)	
DATOS SECUNDARIOS: PREGUNTAS DE MUESTRA RELATIVAS A LA CALIDAD DE LOS DATOS DE ENTRADA						
1. ¿Se realizan las actividades de CC durante la preparación original de los datos (como se informa en la bibliografía publicada o lo indican las comunicaciones personales) de forma coherente y adecuada en comparación con (como mínimo) las actividades generales de CC?						
2. ¿El organismo de estadísticas tiene un plan de GC/CC que cubre la elaboración de los datos?						
3. Para el caso de los sondeos, ¿qué protocolos de muestreo se utilizaron y cuánto hace que se los revisó?						
4. Para los datos de la actividad específicos del sitio, ¿hay alguna norma nacional o internacional aplicable a la medición de los datos? De ser así, ¿se la empleó?						
5. ¿Se estimaron y documentaron las incertidumbres de los datos?						
6. ¿Se identificaron y documentaron limitaciones de los datos secundarios, como ser sesgo o estimaciones incompletas? ¿Se encontraron errores?						
6. Evaluar la representatividad de los factores de emisión, dadas las circunstancias nacionales y los datos de emisión análogos						
7. ¿Se sometieron los datos secundarios a la revisión de pares y, de ser así, de qué tipo?						
8. Otros (controles detallados)						
MEDICIÓN DIRECTA DE LAS EMISIONES: CONTROLES DE LOS PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR EMISIONES						
9. Identificar qué variables dependen de la medición directa de las emisiones						
10. Verificar los procedimientos utilizados para medir emisiones, incluidos los procedimientos de muestreo, calibración y mantenimiento del equipo.						
11. Identificar si se usaron los procedimientos estándar, en los casos en los que existen (como los métodos del IPCC o las normas ISO).						
12. Otros (controles detallados)						

Anexo L. Mapa de cobertura y uso de la tierra en Costa Rica





Ministerio de Ambiente y Energía
Instituto Meteorológico Nacional

www.imn.ac.cr | imn@imn.ac.cr
<http://cglobal.imn.ac.cr>

Tel. +506 2222-5616
Apartado postal: 5583-1000
San José, Costa Rica

95,0%

Media = 554,33

Emisiones de CO₂ (Gg)