



*Al servicio  
de las personas  
y las naciones*



**INFORME FINAL**

# **“ESCENARIO LÍNEA BASE DE EMISIONES GEI DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS”**

PNUD SDP 114/2012



**JUNIO 2013**



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>19</b>
3.1	GESTIÓN DE RESIDUOS ANTRÓPICOS EN CHILE Y EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ASOCIADAS .....	19
3.2	PRINCIPALES METODOLOGÍAS Y MODELOS UTILIZADOS EN CHILE Y EN EL MUNDO PARA LA PROYECCIÓN DE EMISIONES DE GEI .....	21
3.2.1	AUSTRALIA .....	21
3.2.2	SUDÁFRICA .....	23
3.2.3	CHILE .....	24
<b>4</b>	<b>VISIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI DEL SECTOR RESIDUOS ANTRÓPICOS AL AÑO 2006 .....</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>30</b>
5.1	RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	30
5.1.1	Modelos de proyección .....	30
5.1.2	Cálculo de emisiones mediante metodología de descomposición de primer orden (FOD) .....	40
5.1.3	Fuentes de información .....	50
5.2	RESIDUOS LÍQUIDOS .....	53
5.2.1	Residuos líquidos domiciliarios .....	53
5.2.2	Residuos líquidos industriales .....	64
5.3	INCINERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS .....	70
5.3.1	Modelo de proyección .....	70
5.3.2	Cálculo de emisiones anuales del sector .....	71
5.3.3	Fuentes de información .....	72
5.4	EXCRETAS HUMANAS .....	75
5.4.1	Modelo de proyección .....	75
5.4.2	Cálculo de emisiones anuales del sector .....	77
5.4.3	Fuentes de información .....	78
<b>6</b>	<b>ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>83</b>
7.1	RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	84
7.2	RESIDUOS LÍQUIDOS .....	86
7.2.1	Residuos Líquidos Domiciliarios .....	86
7.2.2	Residuos Líquidos Industriales .....	88
7.3	INCINERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS .....	90
7.4	EXCRETAS HUMANAS .....	91
7.5	EMISIONES TOTALES DEL SECTOR RESIDUOS ANTRÓPICOS .....	93
<b>8</b>	<b>ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....</b>	<b>99</b>



INFORME FINAL  
“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”



8.1	COMPOSTAJE .....	99
8.2	RECICLAJE DE PAPEL Y CARTÓN .....	100
8.3	INCINERACIÓN O CAPTURA DE METANO .....	102
8.4	PPC ALIMENTOS.....	104
<b>9</b>	<b>ESTIMACIÓN DE EMISIONES DEL SECTOR ENTRE 2007-2011 .....</b>	<b>106</b>
9.1	RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	106
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>109</b>
<b>11</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>112</b>
<b>12</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>117</b>
12.1	ANEXO 1: METODOLOGÍA DE PROYECCIÓN DEL PIB, POBLACIÓN NACIONAL, POBLACIÓN URBANA NACIONAL Y PIB PER CÁPITA .....	117
12.2	ANEXO 2: MODELOS DE PROYECCIÓN .....	122
12.2.1	<i>Anexo 2.1. Modelo de proyección de PPC No Alimentos. Subsector Residuos Sólidos Urbanos</i> .....	122
12.3	ANEXO 3: ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACIÓN .....	123
12.4	ANEXO 4: GRÁFICOS DE INTERÉS .....	134
12.4.1	<i>Residuos Sólidos</i> .....	134
12.4.2	<i>Residuos Líquidos</i> .....	141
12.4.3	<i>Incineración Hospitalaria</i> .....	142
12.4.4	<i>Excretas Humanas</i> .....	143
12.5	ANEXO 5: COMPARACIÓN DE VALORES REALES Y DE ESCENARIO MEDIO ALTO.....	144
12.5.1	<i>PIB</i> .....	144
12.5.2	<i>Población Nacional</i> .....	145
12.6	ANEXO 6: ORIGEN DE LA VARIABLE “k” (CONSTANTE DE REACCIÓN) .....	146
12.7	ANEXO 7: PROYECCIÓN DE PPC TOTAL PARA RM Y OTRAS REGIONES .....	148



INFORME FINAL  
“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”



## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. METODOLOGÍAS APLICADAS PARA EL CÁLCULO DE LOS GEI SEGÚN CATEGORÍA. CASO AUSTRALIANO.....	22
CUADRO 2. RELACIÓN ENTRE EL NIVEL DE INGRESOS Y AL GENERACIÓN P/C DE RESIDUOS. CASO SUDAFRICANO.....	23
CUADRO 3. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO MEDIA ANUAL DE GENERACIÓN PER CÁPITA DE RSD. CASO CHILENO .	26
CUADRO 4. DATOS UTILIZADOS PARA OBTENCIÓN DE MODELO DE PROYECCIÓN: GENERACIÓN PER CÁPITA PARA RESIDUOS NO ALIMENTOS.....	36
CUADRO 5. PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN DE RSU PARA PAÍSES EN DESARROLLO .....	38
CUADRO 6. PORCENTAJES DE COMPOSICIÓN DE RSU PARA PAÍSES DESARROLLADOS .....	39
CUADRO 7. FRACCIÓN DEL DOC QUE REALMENTE SE DESCOMPONE, SEGÚN TIPO DE RESIDUO. ....	46
CUADRO 8. VALORES DE FACTOR DE CORRECCIÓN DEL METANO (MCF).....	47
CUADRO 9. RESUMEN DE FUENTES DE INFORMACIÓN. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	51
CUADRO 10. DATOS UTILIZADOS PARA OBTENCIÓN DE MODELO DE PROYECCIÓN: FRACCIÓN DE CAUDAL TRATADO POR TIPO DE TRATAMIENTO .....	57
CUADRO 11. FRACCIÓN DE CORRECCIÓN DEL METANO (MCF) PARA AGUAS DOMÉSTICAS.....	61
CUADRO 12. SUPUESTO PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL TRATADO POR LAS PTAS (DBO) .....	61
CUADRO 13. FRACCIÓN DE CORRECCIÓN DEL METANO (MCF) PARA LODOS.....	62
CUADRO 14. CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN DE METANO (B <sub>0</sub> ).....	62
CUADRO 15. RESUMEN DE FUENTES DE INFORMACIÓN. AGUAS DOMÉSTICAS .....	62
CUADRO 16. CONTENIDO ORGÁNICO DEGRADABLE EN RILES TRATADOS EL AÑO 1992 .....	65
CUADRO 17. CONTENIDO ORGÁNICO DEGRADABLE EN RILES TRATADOS EL AÑO 1998 .....	66
CUADRO 18. CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN DE METANO PARA AGUAS INDUSTRIALES.....	67
CUADRO 19. FACTORES DE EMISIÓN POR TIPO DE PTAS .....	68
CUADRO 20: RESUMEN DE FUENTES DE INFORMACIÓN. RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS .....	68
CUADRO 21. DATOS UTILIZADOS PARA OBTENCIÓN DE MODELO DE PROYECCIÓN. MASA TOTAL DE DESECHOS INCINERADOS.....	70
CUADRO 22. VALORES POR DEFECTO.....	72
CUADRO 23. RESUMEN DE FUENTES DE INFORMACIÓN. INCINERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS.....	72
CUADRO 24. DATOS UTILIZADOS PARA OBTENCIÓN DE MODELO DE PROYECCIÓN. CANTIDAD DE PROTEÍNAS CONSUMIDAS POR PERSONA.....	75
CUADRO 25. VALORES POR DEFECTO. EXCRETAS HUMANAS.....	78
CUADRO 26. RESUMEN DE FUENTES DE INFORMACIÓN. EXCRETAS HUMANAS .....	78
CUADRO 27. ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACIÓN.....	81
CUADRO 28. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	84
CUADRO 29. PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO <sub>2</sub> . RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	86
CUADRO 30. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE DE RESIDUOS LÍQUIDOS DOMICILIARIOS .....	87
CUADRO 31. PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO <sub>2</sub> . RESIDUOS LÍQUIDOS DOMICILIARIOS.....	88
CUADRO 32. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE DE RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES .....	89
CUADRO 33. PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO <sub>2</sub> . RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES.....	90
CUADRO 34. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE DE LA INCINERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS .....	91
CUADRO 35. PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO <sub>2</sub> . INCINERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS.....	91
CUADRO 36. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE PROVENIENTES DE EXCRETAS HUMANAS.....	92
CUADRO 37. PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN LAS EMISIONES DE CO <sub>2</sub> PROVENIENTES DE EXCRETAS HUMANAS .....	93
CUADRO 38. EMISIONES POR SUBSECTOR Y ESCENARIO.....	94
CUADRO 39. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EQUIVALENTE PROVENIENTES DEL SECTOR RESIDUOS ANTRÓPICOS.....	95



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



CUADRO 40. VARIACIÓN DE EMISIONES ENTRE LOS DISTINTOS ESCENARIOS EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA .....	96
CUADRO 41. SENSIBILIZACIÓN DE EMISIONES RSU EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA - COMPOSTAJE.....	100
CUADRO 42. SENSIBILIZACIÓN DE EMISIONES RSU EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA – RECICLAJE DE PAPEL.....	101
CUADRO 43. SENSIBILIZACIÓN DE EMISIONES RSU EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA – INCINERACIÓN DE METANO.....	103
CUADRO 44. SENSIBILIZACIÓN DE EMISIONES RSU EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA – PPC ALIMENTOS .....	105
CUADRO 45. COMPARACIÓN DE EMISIONES ESCENARIO DE REFERENCIA RSU VERSUS ESCENARIO REAL .....	107
CUADRO 46. DATOS HISTÓRICOS SOBRE POBLACIÓN Y PIB .....	118
CUADRO 47. TASAS DE CRECIMIENTO PARA LA POBLACIÓN Y EL PIB ENTREGADAS POR EQUIPO MAPS.....	119
CUADRO 48. INFORMACIÓN HISTÓRICA DE POBLACIÓN URBANA .....	121
CUADRO 49. COMPARACIÓN PARA VALORES DEL PIB REAL Y DE ESCENARIO MEDIO ALTO .....	144
CUADRO 50. COMPARACIÓN DE VALORES DE POBLACIÓN REAL Y DE ESCENARIO MEDIO ALTO .....	145
CUADRO 51. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DEL DOC DISUELTO EN SEDS.....	146
CUADRO 52. RESULTADOS PARA PROYECCIÓN DESCOMPOSICIÓN POR AÑOS.....	147
CUADRO 53. PROYECCIÓN DE PPC – ESCENARIO DE REFERENCIA .....	148

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. EVOLUCIÓN DE LA COBERTURA DE LAS PTAS POR TIPO DE TRATAMIENTO .....	56
GRÁFICO 2. PROYECCIÓN PIB PER CÁPITA. ....	83
GRÁFICO 3. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> : RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	84
GRÁFICO 4. EMISIONES DE CO <sub>2</sub> : RESIDUOS LÍQUIDOS DOMICILIARIOS .....	87
GRÁFICO 5. EMISIONES: RESIDUOS LÍQUIDOS INDUSTRIALES .....	89
GRÁFICO 6. EMISIONES: INCINERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS .....	90
GRÁFICO 7. EMISIONES: EXCRETAS HUMANAS .....	92
GRÁFICO 8: EMISIONES TOTALES: SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS .....	94
GRÁFICO 9. EMISIONES ACUMULADAS POR SUBSECTORES PARA EL SECTOR RESIDUOS ANTRÓPICOS .....	97
GRÁFICO 10. APORTE DE CADA SUBSECTOR A LAS EMISIONES DEL SECTOR RESIDUOS ANTRÓPICOS .....	98
GRÁFICO 11. SENSIBILIZACIÓN DE EMISIONES RSU EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA - COMPOSTAJE .....	99
GRÁFICO 12. SENSIBILIZACIÓN DE EMISIONES RSU EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA – RECICLAJE DE PAPEL.....	101
GRÁFICO 13. SENSIBILIZACIÓN DE EMISIONES RSU EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA – INCINERACIÓN DE METANO .....	103
GRÁFICO 14. SENSIBILIZACIÓN DE EMISIONES RSU EN BASE AL ESCENARIO DE REFERENCIA – PPC ALIMENTOS.....	104
GRÁFICO 15. CÁLCULO DE EMISIONES REALES DE RSU PARA PERIODO 2007-2011 Y SU COMPARACIÓN CON EL ESCENARIO DE REFERENCIA DEL PIB .....	107
GRÁFICO 16. GENERACIÓN NACIONAL DE RSU POR TIPO DE RESIDUO. ESCENARIO PESIMISTA .....	134
GRÁFICO 17. GENERACIÓN NACIONAL DE RSU POR TIPO DE RESIDUO. ESCENARIO MEDIO BAJO.....	134
GRÁFICO 18. GENERACIÓN NACIONAL DE RSU POR TIPO DE RESIDUO. ESCENARIO MEDIO ALTO.....	135
GRÁFICO 19. GENERACIÓN NACIONAL DE RSU POR TIPO DE RESIDUO. ESCENARIO OPTIMISTA. ....	135
GRÁFICO 20. GENERACIÓN NACIONAL DE RSU POR TIPO DE RESIDUO. ESCENARIO DE REFERENCIA.....	136
GRÁFICO 21. DISPOSICIÓN DE RSU POR TIPO EN SEDS. ESCENARIO PESIMISTA.....	136
GRÁFICO 22. DISPOSICIÓN DE RSU POR TIPO EN SEDS. ESCENARIO MEDIO BAJO .....	137
GRÁFICO 23. DISPOSICIÓN DE RSU POR TIPO EN SEDS. ESCENARIO MEDIO ALTO .....	137
GRÁFICO 24. DISPOSICIÓN DE RSU POR TIPO EN SEDS. ESCENARIO OPTIMISTA.....	138
GRÁFICO 25. DISPOSICIÓN DE RSU POR TIPO EN SEDS. ESCENARIO DE REFERENCIA .....	138
GRÁFICO 26. VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN DE RSU GENERADOS. ESCENARIO PESIMISTA .....	139
GRÁFICO 27. VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN DE RSU GENERADOS. ESCENARIO MEDIO BAJO .....	139
GRÁFICO 28. VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN DE RSU GENERADOS. ESCENARIO MEDIO ALTO .....	140
GRÁFICO 29. VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN DE RSU GENERADOS. ESCENARIO OPTIMISTA .....	140
GRÁFICO 30. VARIACIÓN EN LA COMPOSICIÓN DE RSU GENERADOS. ESCENARIO DE REFERENCIA .....	141
GRÁFICO 31. CARGA ORGÁNICA DE AGUAS DOMÉSTICAS .....	141
GRÁFICO 32. CARGA ORGÁNICA DE RILES .....	142
GRÁFICO 33. MASA TOTAL INCINERADA.....	142
GRÁFICO 34. CONSUMO PER CÁPITA DE PROTEÍNAS .....	143
GRÁFICO 35. COMPARACIÓN DE VALORES DEL PIB REAL Y DE ESCENARIO MEDIO ALTO.....	144
GRÁFICO 36. COMPARACIÓN DE VALORES DE POBLACIÓN REAL Y DE ESCENARIO MEDIO ALTO .....	145



INFORME FINAL  
“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”



## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1. PPC EN BASE AL IBP.....	25
ECUACIÓN 2. MODELO ECONOMÉTRICO DE PROYECCIÓN PPC NO ALIMENTOS .....	35
ECUACIÓN 3. DESAGREGACIÓN PPC NO ALIMENTOS POR REGIÓN .....	37
ECUACIÓN 4. EMISIÓN TOTAL DE CH <sub>4</sub> POR RESIDUOS SÓLIDOS.....	43
ECUACIÓN 5. DOC DISUELTO A PARTIR DE LOS DATOS SOBRE LA ELIMINACIÓN DE DESECHOS .....	45
ECUACIÓN 6. DDOC <sub>M</sub> ACUMULADO EN LOS SEDS AL TÉRMINO DEL AÑO T .....	48
ECUACIÓN 7. DDOC <sub>M</sub> ACUMULADO EN LOS SEDS AL TÉRMINO DEL AÑO T .....	49
ECUACIÓN 8. PROYECCIÓN DE CH <sub>4</sub> GENERADO A PARTIR DE LOS DDOC <sub>M</sub> EN DESCOMPOSICIÓN .....	49
ECUACIÓN 9. PROYECCIÓN FRACCIÓN DBO EMISARIOS SUBMARINOS .....	55
ECUACIÓN 10. PROYECCIÓN FRACCIÓN DBO LAGUNAS AIREADAS.....	55
ECUACIÓN 11. PROYECCIÓN FRACCIÓN DBO LODOS ACTIVADOS .....	55
ECUACIÓN 12. PROYECCIÓN FRACCIÓN DBO LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.....	55
ECUACIÓN 13. PROYECCIÓN FRACCIÓN DBO BIOFILTRO.....	55
ECUACIÓN 14. PROYECCIÓN FRACCIÓN DBO ZANJAS DE OXIDACIÓN .....	55
ECUACIÓN 15. POBLACIÓN URBANA REGIONAL TRATADA POR CADA SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS.....	58
ECUACIÓN 16. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO PER CÁPITA NACIONAL .....	59
ECUACIÓN 17. FACTOR DE EMISIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS PARA LODOS Y AGUAS SEGÚN CORRESPONDA .....	60
ECUACIÓN 18. EMISIONES DE RESIDUOS DE AGUAS RESIDUALES TOTALES .....	60
ECUACIÓN 19. EMISIONES DE LODOS DE AGUAS RESIDUALES TOTALES.....	60
ECUACIÓN 20. PROYECCIÓN DE CARGA ORGÁNICA DEGRADABLE EN RILES .....	65
ECUACIÓN 21. EMISIONES DE CH <sub>4</sub> POR LOS RESIDUOS INDUSTRIALES LÍQUIDOS.....	67
ECUACIÓN 22. MODELO DE PROYECCIÓN DE LA MASA TOTAL A INCINERAR.....	70
ECUACIÓN 23. ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE CO <sub>2</sub> BASADA EN LA CANTIDAD DE DESECHOS INCINERADOS .....	71
ECUACIÓN 24. PROYECCIÓN DE CONSUMO PER CÁPITA DE PROTEÍNAS .....	77
ECUACIÓN 25. N <sub>2</sub> O PROVENIENTE DE EXCRETAS HUMANAS .....	77
ECUACIÓN 26. PROYECCIÓN DEL PIB NACIONAL .....	117
ECUACIÓN 27. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN (NACIONAL Y REGIONAL) .....	117
ECUACIÓN 28. CÁLCULO DE PIB PER CÁPITA.....	117



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PPC A PARTIR DE DATOS DE DISPOSICIÓN .....	32
FIGURA 2. ÁRBOL DE DECISIÓN PARA LAS EMISIONES DE CH <sub>4</sub> , PROVENIENTES DE LOS SITIOS DE ELIMINACIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS, IPCC 2006. ....	41
FIGURA 3. MÉTODO FOD. ELABORACIÓN PROPIA .....	44



## 1 RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo general de este estudio fue realizar una proyección de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el sector Residuos Antrópicos para el escenario Línea Base 2007 o Crecimiento sin Restricciones. El horizonte de proyección es entre los años 2007 y 2050. Se proyectaron las emisiones para los cuatro subsectores que comprenden el sector de Residuos Antrópicos: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos Líquidos (domésticos e industriales), Incineración de Residuos Hospitalarios y Excretas Humanas.

Los objetivos específicos de este estudio son los siguientes:

- Disponer de un modelo validado en común acuerdo con la contraparte técnica para representar y simular el sector específico.
- Asegurar la coherencia de los modelos propuestos y de los datos básicos utilizados, con aquellos utilizados en los otros sectores modelados.
- Conocer la información disponible y respaldada, que representen las emisiones del año 2007 y los parámetros requeridos para la proyección del escenario Línea Base 2007 (LB) o Crecimiento Sin Restricciones (CSR).
- Completar los vacíos que deje la información disponible a 2007, con información adicional validada por la contraparte técnica, de manera de proyectar adecuadamente el escenario LB o CSR. Se requiere especificar los supuestos considerados para las principales variables en base a la información adicional.
- Proyectar las emisiones de GEI para el escenario LB o CSR a nivel nacional, con un horizonte de evaluación 2007-2050, detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050.
- Usando la misma metodología de proyección del punto anterior, y con los datos reales de las variables relevantes para la proyección, estimar las emisiones del sector para el periodo 2007-2011. Explicar las diferencias observadas en relación a proyección del escenario LB o CSR.

Por tratarse de la proyección de un escenario de Línea Base, sólo se consideraron las leyes y medidas de mitigación que se encontraban aprobadas a diciembre de 2006. Además, la proyección se realizó considerando los supuestos e información histórica disponible hasta el año 2006, siendo el 2007 el primer año a proyectar.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Las emisiones de GEI consideradas en este sector se producen por la descomposición anaeróbica en vertederos y rellenos, el tratamiento de aguas residuales domésticas, el tratamiento de Residuos Líquidos Industriales (RILes), emisiones de N<sub>2</sub>O por excretas humanas y la incineración residuos hospitalarios. Este estudio no considera las emisiones asociadas al consumo de energía para elaborar productos tales como papel, cartón, plástico, etc., ni el consumo energético asociado al transporte de los residuos desde la generación al sitio de disposición final.

Las metodologías utilizadas para cada subsector dependieron de la calidad de la información disponible y de la relevancia de estos mismos a las emisiones totales del sector. En el caso de los RSU, las emisiones tienen relación con el tipo de tratamiento de los residuos, la cantidad, la composición (alimentos, papel, cartón, textil, etc.), entre otras variables. Por esta razón, la metodología consistió en una primera etapa, en una revisión y recopilación de información histórica respecto a la población nacional y regional, PIB, PIB per cápita y cantidad de residuos dispuestos en SEDS (Sitios de Disposición de Desechos Sólidos). Las tasas de crecimiento de la población nacional y PIB nacional fueron entregadas por la contraparte técnica del proyecto y fueron las mismas que utilizaron los otros estudios sectoriales que se desarrollaron en forma paralela a éste.

A partir de la información anterior se determinó la serie histórica de producción per cápita (PPC) para residuos de alimentos y PPC para residuos distintos de alimentos (generalmente el PPC se mide en [ton/hab/año] o [kg/hab/día]). En base a esta información, se supuso que el PPC para alimentos se mantiene constante para todo el horizonte de proyección, dado que a nivel per cápita, se espera que este parámetro no tenga variaciones en el tiempo. Por lo tanto, la proyección de la cantidad total de residuos de esta sub-categoría está determinada por el crecimiento de la población. Para los residuos distintos de alimentos (papel, cartón, textil y otros residuos), se elaboró un modelo econométrico que permitió relacionar la variable clave de la proyección, el PPC de residuos no alimenticios, con el PIB per cápita nacional. Por lo tanto, la proyección de la cantidad de total residuos de esta sub-categoría está determinada tanto por el crecimiento de la población como por el crecimiento esperado del PIB. La proyección se realizó a nivel regional por lo que se tuvieron que realizar supuestos para desagregar la población nacional en las distintas regiones. Cabe mencionar que el criterio para desagregar la población nacional presenta algunas diferencias con el criterio utilizado por los estudios que se desarrollaron en forma paralela a esta consultoría.



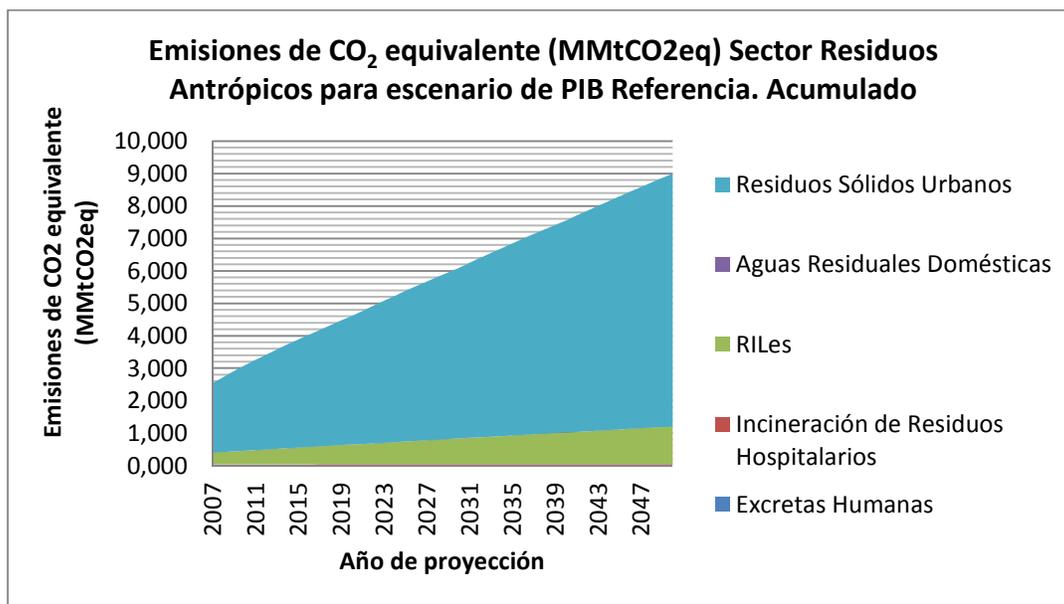
*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



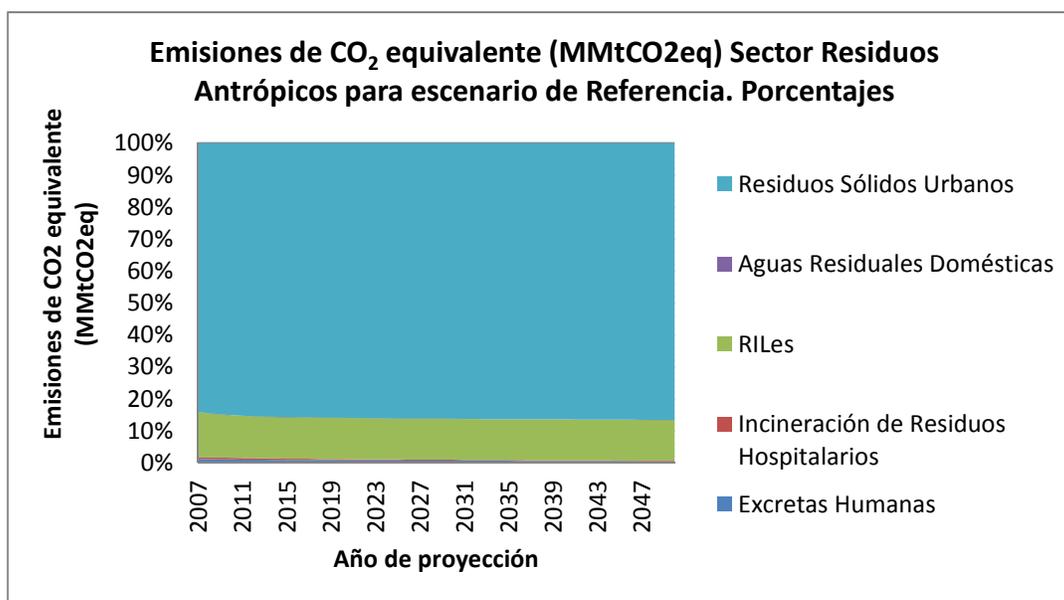
Por otro lado, en el caso de los otros subsectores (residuos líquidos, residuos hospitalarios y excretas humanas), se identificaron las variables a proyectar, cuyas emisiones se relacionan con la cantidad o fracción de materia orgánica que se descompone o incinera en cada proceso. Debido a la baja participación de estos sectores en las emisiones totales, se realizaron tendencias lineales que permitieran proyectar la variable al año 2050. Luego, aplicando las metodologías presentadas por el IPCC (2006), se obtuvo el cálculo de emisiones para cada año del periodo 2007-2050 para cada subsector. Para los subsectores residuos líquidos domiciliarios y excretas humanas, las emisiones dependen principalmente de la proyección de la población total y urbana.

El análisis de la calidad de la información disponible concluye que no existe suficiente información disponible sobre el sector de Residuos Antrópicos en general. Para el subsector RSU, la cantidad de datos de PPC históricos es limitada. Asimismo, los valores desagregados para las categorías alimentos y no alimentos se construyeron de manera indirecta a partir de los datos de disposición. Por lo tanto, el modelo estimado sólo posee validaciones estadísticas limitadas, quedando espacio para mejoras.

Los resultados de este estudio, presentados en la siguiente ilustración, muestran que las emisiones totales del sector Residuos Urbanos, dependen en su mayoría de las emisiones producidas por los RSU, siendo su aporte al año 2007 un 84% en el escenario de referencia (ver Ilustración 2) respecto del total. De los otros sectores destaca Residuos Líquidos con un 14%, del cual el mayor aporte lo hace RILes. Los otros dos sectores, Incineración de Residuos Hospitalarios y Excretas Humanas se consideran despreciables, puesto que su aporte a las emisiones del sector es menor al 1%.



**Ilustración 1. Emisiones totales del sector Residuos Antrópicos (acumulado) para el escenario PIB de referencia. En el documento se encuentran los resultados para los otros escenarios de PIB.**



**Ilustración 2. Aporte en porcentaje de cada subsector al total de emisiones**

La siguiente tabla muestra las emisiones totales para los años 2007, 2020, 2030 y 2050.

**Tabla 1. Emisiones totales del sector según escenario PIB**

<b>Emisiones de CO2 equivalente (MMtCO2eq)</b>				
<b>Descripción de Series</b>	<b>2007</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
<b>Escenario Pesimista</b>	2,5340	4,5830	6,0157	8,4264
<b>Escenario Medio Bajo</b>	2,5342	4,6067	6,1000	9,0332
<b>Escenario Medio Alto</b>	2,5343	4,6242	6,1674	9,3492
<b>Escenario Optimista</b>	2,5343	4,6318	6,2068	9,4584
<b>Escenario de Referencia</b>	2,5342	4,6007	6,0870	9,0007

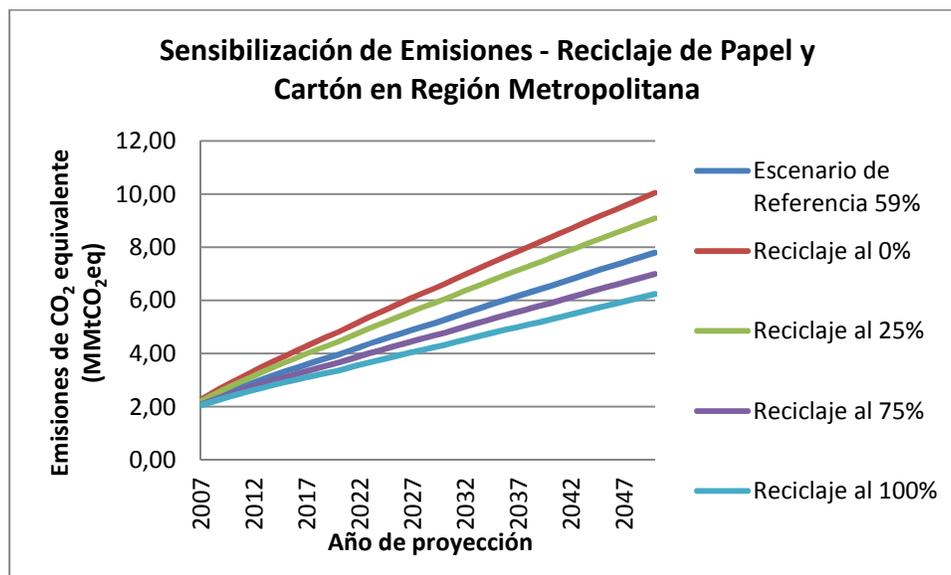
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados muestran que hacia el año 2020 no se observa una gran diferencia entre los distintos escenarios de PIB. Esto se debe a que el modelo resultante para la proyección de PPC de residuos no alimenticios es poco sensible a las variaciones del PIB, esto ya que el coeficiente asociado a la variable del modelo es menor a 0,1.

En algunos casos se aplicó un tratamiento diferenciado para el periodo 2031-2050. En el caso de los Residuos Líquidos Domiciliarios, la fracción de caudal que ingresa a cada tipo de tratamiento, en relación al porcentaje de cobertura de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), se fijó el año en que se alcanza el 100% de cobertura en el sector urbano, este año corresponde al 2011. En las proyecciones de emisiones provenientes de las excretas humanas, también se realizó un tratamiento diferenciado entre periodos. El consumo per cápita de proteínas se fijó al año 2030, considerando que este año llega a valores similares a los del consumo en países de altos ingresos como Noruega. En los casos de RSU, Incineración de Residuos Hospitalarios y Residuos Líquidos Industriales, no se realizó tratamiento diferenciado, puesto que no se contaba con información suficiente, ni

nacional ni internacional, que permitiera realizar una comparación y definir un valor límite.

Se realizó un análisis de sensibilidad, para aquellas variables que presentan mayor incertidumbre. Dicha sensibilización realizó para la categoría principal, Residuos Sólidos Urbanos, debido a que es el subsector que influye de manera más importante en las emisiones totales del sector. Para esto se consideraron distintos aspectos que podrían influir en las emisiones, por tanto, las sensibilizaciones se realizaron en torno al reciclaje, compostaje, quema de metano y cantidad de desechos de alimentos. De éstas, la variable que afectó de manera más importante las emisiones totales para los valores de sensibilidad considerados fue el reciclaje de papel y cartón. En la siguiente Ilustración se muestran los cambios de la curva debido a la variación entre un 0% y un 100% de reciclaje en la Región Metropolitana.



**Ilustración 3. Efecto del reciclaje de papel sobre las emisiones totales del subsector RSU**

Como se deduce del gráfico, a mayor porcentaje de reciclaje de papel y cartón, menores son las emisiones por subsector RSU. Esto se debe a que este tipo de residuo es el que tiene mayor contenido orgánico por tonelada de residuo, por lo que, al degradarse, más emisiones GEI genera.

Por último, se realizó una comparación entre los resultados de emisiones totales del sector respecto de las emisiones reales, basadas en el modelo econométrico para el



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**

---



subsector RSU. Para realizar esto, se utilizó el mismo modelo de proyección de PPD de residuos distintos de alimentos, utilizando los valores reales de los *drivers* para los años 2007-2011 y se comparó con los resultados de la proyección del escenario Medio Alto.



## 2 INTRODUCCIÓN

El proyecto MAPS Internacional (por su nombre en inglés *Mitigation Action Plans and Scenarios*), nace el año 2010 con el fin de apoyar a países en desarrollo a elaborar planes de desarrollo que sean compatibles con los desafíos del cambio climático, desarrollando actualmente proyectos MAPS en Brasil, Chile, Colombia y Perú.

Si bien, la participación de Chile en las emisiones globales de GEI es mínima (0,2%), existe unan preocupación por parte de las autoridades por su significativo aumento en las últimas décadas. Tan sólo entre los años 1990 y 2006, éstas aumentaron 232%. Por esta razón Chile comunicó en Copenhague el compromiso voluntario de implementar acciones de mitigación de modo de lograr una desviación de 20% por debajo de su trayectoria de emisiones de línea base hacia el 2020.

La iniciativa propuesta por MAPS Chile busca integrar y consolidar información de los diversos sectores, bajo un proceso participativo y organizado. Para esto, los objetivos que se plantea son: Contribuir con información y acciones posibles para mitigar las emisiones de GEI, que a la vez potencien la competitividad internacional del país y amplíen sus posibilidades de desarrollo; Facilitar el cumplimiento del compromiso voluntario comunicado por el país en Copenhague; y Aumentar el conocimiento y la conciencia general sobre el tema de cambio climático en los diversos actores relevantes.

El Estudio “Escenario Línea Base de Emisiones del Sector de Residuos Antrópicos en el Marco del Proyecto MAPS Chile” tiene como principal objetivo *Proyectar las emisiones de GEI para el sector de Residuos Antrópicos a nivel nacional para el escenario Línea Base (LB) o Crecimiento Sin Restricciones (CSR), en el horizonte de evaluación 2007-2050, considerando como año de inicio el año 2007 y detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050.*

Para ello, se han descrito seis objetivos específicos:

1. Disponer de un modelo validado en común acuerdo con la contraparte técnica para representar y simular el sector específico.
2. Asegurar la coherencia de los modelos propuestos y de los datos básicos utilizados, con aquellos utilizados en los otros sectores modelados.

3. Conocer la información disponible y respaldada, que representen las emisiones del año 2007 y los parámetros requeridos para la proyección del escenario LB o CSR.
4. Completar los vacíos que deje la información disponible a 2007, con información adicional validada por la contraparte técnica, de manera de proyectar adecuadamente el escenario LB o CSR. Se requiere especificar los supuestos considerados para las principales variables en base a la información adicional.
5. Proyectar las emisiones de GEI para el escenario LB o CSR a nivel nacional, con un horizonte de evaluación 2007-2050, detallando los resultados para los años 2020, 2030 y 2050.
6. Usando la misma metodología de proyección del punto 5, y con los datos reales de las variables relevantes para la proyección, estimar las emisiones del sector para el periodo 2007-2011. Explicar las diferencias observadas en relación a proyección del escenario LB o CSR.

Para llevar a cabo estos objetivos, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica y levantamiento de información. En primer lugar se consultó la bibliografía recomendada por el PNUD en los TDR correspondientes al sector. Además, se consultó bibliografía externa, nacional e internacional, relacionada con los modelos de proyección de emisiones provenientes de residuos antrópicos y se consultó a expertos del sector y a la contraparte en busca de opiniones o datos requeridos para el modelo.

Las categorías que se abarcan en este trabajo son las siguientes:

- Residuos sólidos urbanos.
- Residuos líquidos.
  - Aguas servidas.
  - Lodos domésticos.
  - Tratamiento de aguas residuales.
  - Tratamiento de lodos residuales.
- Incineración de residuos hospitalarios.
- Emisión de N<sub>2</sub>O por excretas humanas.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Es importante destacar que el alcance de este trabajo abarca sólo aquellas emisiones asociadas al tratamiento y disposición de los residuos indicados anteriormente. No se abordan emisiones asociadas a residuos de agroindustria ni el transporte de residuos, ya que estas emisiones están contenidas en otros sectores del proyecto MAPS. Otro aspecto de alcance a considerar es que, al ser un estudio situado en el año 2006, se considerará la antigua regionalización, con 13 regiones, sin considerar las incorporadas durante el año 2007 (Región de Arica y Parinacota y Región de Los Ríos) en las proyecciones.

Finalmente, las emisiones de GEI consideradas en la metodología para el sector de Residuos Antrópicos según el IPCC son:

- CH<sub>4</sub> proveniente de residuos sólidos urbanos.
- CH<sub>4</sub> proveniente del tratamiento anaeróbico de aguas residuales (domésticas e industriales) y del tratamiento de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.
- Gases no-CO<sub>2</sub> (CH<sub>4</sub> Y N<sub>2</sub>O) provenientes de la incineración de residuos hospitalarios y, además, en caso que estos residuos presenten un contenido fósil, se considerará emisión de CO<sub>2</sub> por la porción fósil. Sólo se considerarán emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la porción fósil del carbono incinerado, ya que aunque la porción no-fósil del carbono contenido también emite CO<sub>2</sub>, este no es de origen antrópico.
- N<sub>2</sub>O proveniente de las excretas humanas.



### 3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

La revisión bibliográfica se realizó, inicialmente, en base a la bibliografía entregada en los TDR.

Una vez revisados dichos documentos, se consultó bibliografía recomendada en el sitio web de MAPS-Chile<sup>1</sup>, en el libro “Inventarios Anuales de Gases de Efecto Invernadero de Chile, Serie Temporal 1984-2003 para Sectores No-Energía” (INIA, 2009) y en sitios web institucionales de Chile como del Ministerio de Medio Ambiente<sup>2</sup> (MMA) y el Instituto Nacional de Estadísticas<sup>3</sup> (INE). Además se consultó el informe “Complementación y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, y residuos antrópicos” del INIA (2010) y sus planillas de cálculo que contienen datos históricos del sector.

Finalmente se realizó una búsqueda exhaustiva de documentos públicos en la web con información relevante para el sector de Residuos Antrópicos. Toda esta bibliografía está debidamente citada al final del informe, en capítulo Bibliografía.

#### 3.1 GESTIÓN DE RESIDUOS ANTRÓPICOS EN CHILE Y EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ASOCIADAS

Según el manual para el cálculo de GEI en el manejo de Residuos Sólidos del IFEU (*Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH*, 2009), se establece que el sector del manejo de los residuos mundial contribuye al aporte de GEI, principalmente a través de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Estos gases, en su conjunto, constituyen un aporte a las emisiones de GEI a nivel global de un 2.7%, según el Cuarto Informe de Evaluación de la IPCC.

Por su parte, Chile es uno de los países con aportes de GEI muy bajos a nivel internacional (0,2%). Sin embargo, a nivel nacional, se ha observado un incremento por sobre el 200%

<sup>1</sup> <http://www.mapschile.cl/>

<sup>2</sup> <http://www.mma.gob.cl/>

<sup>3</sup> <http://www.ine.cl/>



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



entre los años 1990 y 2006, por lo que el país anunció en Copenhague su compromiso voluntario para disminuir en un 20% sus emisiones al 2020 (MAPS Chile, 2012).

Los Inventarios Anuales de Gases de Efecto Invernadero de Chile publicados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) han sido fundamentales para conocer el estado de las emisiones de GEI a nivel nacional. De la última publicación que comprende la serie temporal 1984/2007 concluye que, dentro del sector Residuos Antrópicos, los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) representa el 96% de las emisiones al año 2003 (considerando la sumatoria de los gases en estudio), y también constituye el mayor aporte de CH<sub>4</sub> emitido por todo el sector (98%). Por otro lado, en dicho estudio se concluyó que las variables más influyentes en las emisiones de GEI por Residuos Antrópicos son el nivel poblacional y la infraestructura de la disposición final.

Es por esta razón que los esfuerzos a nivel nacional en el sector de Residuos Antrópicos se han enfocado en esta subcategoría. Se han elaborado políticas, estudios y reportes, manuales técnicos e, incluso, se encuentra en proceso la Ley General de Residuos (actualmente congelada, a la espera de ser ingresada nuevamente al congreso para su aprobación). No obstante, los esfuerzos no son suficientes, ya que a pesar de ser la principal subcategoría en aporte de emisiones de GEI, aún existen muchos vacíos de información y la información existente no es de buena calidad, especialmente en regiones.

La Región Metropolitana, por ser el mayor centro urbano del país y por lo tanto, el mayor generador de RSM (Residuos Sólidos Municipales) a nivel nacional, ha sido donde se han enfocado los esfuerzos. Se ha cambiado el concepto de vertedero por relleno sanitario y mejora cada vez más la tecnología de estos Sitios de Eliminación de Desechos Sólidos (SEDS), permitiendo un mejor manejo de su principal GEI, el metano. No obstante, aún existen vertederos, y más aún, botaderos ilegales que, si bien son posibles de contabilizar en los catastros, no poseen ningún tipo de registros, dificultando tanto las proyecciones como la implementación de medidas de mejora.

Según el Segundo Catastro de Sitios de Disposición Final, Gestión y Tratamiento de Residuos Sólidos Domiciliarios e Industriales, elaborado por ECOAMÉRICA el 2012, los vertederos y botaderos ilegales siguen teniendo relevancia a nivel regional, sobre todo en los extremos norte y sur de nuestro país, emitiendo, principalmente, CH<sub>4</sub> y contaminando las napas subterráneas por los percolados.



Por otro lado, el tratamiento de las aguas residuales constituye el segundo aporte en GEI al sector de Residuos Antrópicos. Recién en la década de los '90 comenzó la construcción de las primeras Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en nuestro país (Barañao & Tapia, 2004). Al año 2011, se calcula que en todas las regiones la cobertura supera el 85%<sup>4</sup> (SISS, 2011). Esto sólo cubre las zonas urbanas, por lo que las zonas rurales cuentan con otros sistemas, principalmente fosas sépticas.

En el caso de las aguas servidas dirigidas a PTAS, éstas tienen asociadas las emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes tanto de las aguas servidas como de los lodos producto del tratamiento de ellas, además del N<sub>2</sub>O emitido por las excretas humanas. Por otro lado, en las zonas rurales, sólo se contabilizan las emisiones de N<sub>2</sub>O de las excretas.

Por último, en el sector de Residuos Antrópicos, se encuentran las emisiones de GEI producto de la incineración de residuos. De este sector se pueden desprender CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O y está enfocado a la incineración e incineración abierta de desechos. Los tipos de desechos que pueden, eventualmente, ser incinerados son RSM, residuos industriales, residuos peligrosos, residuos hospitalarios y lodos de aguas servidas. Sin embargo, considerando la realizada nacional, sólo se considerarán emisiones asociadas a los residuos hospitalarios.

## 3.2 PRINCIPALES METODOLOGÍAS Y MODELOS UTILIZADOS EN CHILE Y EN EL MUNDO PARA LA PROYECCIÓN DE EMISIONES DE GEI

### 3.2.1 AUSTRALIA

Para el caso de Australia, el Departamento de Cambio Climático y Eficiencia Energética (DCCEE), del gobierno nacional, elaboró el año 2010 el documento “*Australia’s Emissions Projections 2010*”, que incluye: (i) proyección de línea base de las emisiones para el compromiso con el Protocolo de Kioto para el periodo 2008-2012 y para el 2020, y (ii) una proyección indicativa de las emisiones de GEI de Australia para el año 2030.

La metodología utilizada por el DCCEE corresponde a un modelo de proyección propio de acuerdo a la metodología aplicada en la elaboración del “*National Greenhouse Gas*

---

<sup>4</sup> La cobertura de las PTAS se mide desde el año 2011 en base al total de la población conectada al sistema de alcantarillado (SISS, 2011).

*Inventory*”, la cual se basa lo propuesto por el IPCC (2006). Para el cálculo de ambos casos, Residuos Sólidos y Aguas Residuales, se utilizó la metodología del modelo de descomposición de primer orden, Nivel 2.

Para esto, se dividió el sector en categorías con metodologías distintas, como se muestra en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Metodologías aplicadas para el cálculo de los GEI según categoría. Caso Australiano**

Fuente de GEI	Método Aplicado		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Residuos Sólidos	-	T2	-
Aguas Residuales	-	T2	T1
Incineración	T2	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a DCCEE (2010).

### 3.2.1.1 Emisiones provenientes de Sitios de Eliminación de Desechos Sólidos (SEDS)

La metodología utilizada por el DCCEE corresponde al modelo de descomposición de primer orden (FOD). La proyección se realizó utilizando un pronóstico de la población y la estimación a futuro de residuos per cápita enviado a relleno/vertedero. No especifica el tipo de modelo utilizado para la proyección.

Los residuos dispuestos en SEDS, al descomponerse, emiten metano por varias décadas, por lo tanto, las emisiones de metano de un año dependen de los residuos enviados a SEDS durante varios años anteriores. Es por esto que el DCCEE utilizó datos desde 1940 en un modelo llamado “*carbon stock model*” que es utilizado para estimaciones de emisiones de GEI y que es adoptado en proyecciones. Este modelo calcula el stock de carbono acumulado en los SEDS mediante el carbono depositado, el que permanece y el dispersado. De este modelo es posible obtener el CH<sub>4</sub> emitido que proviene del carbono orgánico degradable diseminado.

La misma metodología fue adoptada en el sector privado el año 2011 por la empresa *Hyder Consulting Pty Ltda.* quien realizó un estudio de los GEI emitidos por Residuos Municipales de las ciudades de Bathurst, Orange y Dubbo (Hyder, 2011).

### 3.2.1.2 Emisiones provenientes de Aguas Residuales

Las aguas residuales están compuestas por alcantarillado doméstico y comercial, y aguas residuales industriales (RILes).

En el primer caso, se realizó una proyección basada en la proyección de crecimiento poblacional, fracción de la población con conexión a alcantarillado, demanda biológica de oxígeno (DBO), fracción de desechos tratados anaeróbicamente y tasa de captura de metano.

Para el caso de las aguas residuales industriales, se proyectaron en una base nacional mediante la proyección del crecimiento poblacional, proyección de la tasa de generación de aguas residuales, tasa de generación de demanda química de oxígeno, fracción de demanda química de oxígeno tratado anaeróbicamente y la fracción de recuperación de metano para cada industria.

### 3.2.2 SUDÁFRICA

El estudio “*Long Term Mitigation Scenarios*”, en su Reporte 2 “*Non-energy Emissions – Agriculture, Forestry & Waste*” busca definir escenarios de mitigación para estos sectores, en base a experiencias nacionales e internacionales, y a modelos de proyección de la emisión de sus GEI.

En este estudio, la única categoría de Residuos que se considera es la de Residuos Sólidos municipales.

Para la modelación de producción de estos residuos, se utilizó la información de la metodología de Mayet (1993), quien nota que a mayores ingresos, mayor es la generación de residuos per cápita (ver Cuadro 2).

**Cuadro 2. Relación entre el nivel de ingresos y al generación p/c de residuos. Caso Sudafricano**

Nivel de Ingresos	Tasa promedio de generación	
	(m3/cápita/año)	(t/cápita/año)
Alto	2,7	0,43
Medio	0,75	0,17
Bajo	0,24	0,08

Fuente: Taviv *et al.*, 2007.

En relación a esto, se utilizó un modelo económico para tabular los ingresos disponibles por región. Dividiendo esto por la cifra de población, se obtuvo el ingreso per cápita regional por año.

Estas tasas fueron ajustadas al 2003, multiplicándolas por el incremento del PIB desde 1993 (año de la metodología de Mayet), corregida por la inflación.

La proyección de la generación de residuos para Sud África hasta el año 2050, se realizó mediante la proyección de población, porcentaje de urbanismo (y la distribución de los tres grupos socioeconómicos).

### 3.2.3 CHILE

En Chile se han realizado varios estudios sobre estimación de emisiones e inventarios de GEI. Sin embargo, los estudios que incluyen proyecciones sobre la generación de residuos y las emisiones asociadas a ello, son escasos y entregan poca información sobre la metodología utilizada.

A continuación se presentan algunos de ellos.

#### 3.2.3.1 *“Economía del cambio climático en Chile” de la CEPAL (2009).*

En este estudio se evaluaron los impactos físicos y económicos del cambio climático en varios sectores productivos del país, basándose en las proyecciones climáticas bajo dos escenarios de emisión de GEI, uno severo y uno leve.

La metodología para la modelación de la emisión de GEI utilizada en este estudio para el sector de residuos en general, corresponde a un modelo tendencial, basado en datos históricos entregados por el INIA (2004).

#### 3.2.3.2 *“Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables” del Ministerio de Planificación (2009).*

En este caso, como bien dice su título, los residuos en estudio corresponden a los Residuos Sólidos, y corresponde a la proyección de la cantidad de residuos generados, no de sus emisiones. De esta manera, quedan fuera las proyecciones de generación de aguas residuales e incineraciones.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Su objetivo es apoyar a los municipios de pequeñas y medianas localidades en la preparación y evaluación de proyectos de disposición final de residuos sólidos domiciliarios, incluyendo también, según corresponda, las etapas de transporte, tratamiento, reciclaje y transferencia.

Para ello, fue necesario realizar una proyección de generación de residuos sólidos, en base a la tasa de crecimiento de la generación de residuos urbanos que depende, principalmente, del crecimiento de la población y de los ingresos disponibles. En él se plantean dos modelos de proyección de producción per cápita (PPC) futura de residuos en relación al factor económico.

El primero corresponde a un modelo que relaciona la información histórica de PPC de residuos sólidos domiciliarios con el ingreso bruto per cápita<sup>5</sup> (IBP). Esta metodología fue utilizada por el MIDEPLAN para la proyección de la generación de RSD en Antofagasta, Concepción, Talcahuano y Penco (1997). Este modelo no es aplicable si no existe información histórica confiable sobre PPC de residuos.

**Ecuación 1. PPC en base al IBP**

$$PPC = a + b \times \ln(IBPre)$$

Dónde:

*a* y *b* : Coeficientes obtenidos por regresión

*IBPre* : Ingreso bruto per cápita regional

El otro modelo de proyección de PPC de residuos en relación al IBP, corresponde a análisis según estratos socioeconómicos. Utilizando información de la Empresa Metropolitana de Residuos Sólidos (EMERES), del año 2000, sobre la generación de RSD en la Región Metropolitana y la información sobre ingreso promedio del hogar según la encuesta CASEN, se obtuvo la caracterización de la PPC según estrato socioeconómico.

Obtenido esto, se decidió qué tasa de PPC de residuos se adecúa mejor según el estrato socioeconómico correspondiente a la realidad de cada comuna (ver Cuadro 3).

---

<sup>5</sup> También conocido como renta per cápita, corresponde a la relación entre el PIB de un país y su número de habitantes. Es utilizado comúnmente como una medida aproximada de la calidad de vida de la población (Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación, 2007)

**Cuadro 3. Determinación de la tasa de crecimiento media anual de generación per cápita de RSD. Caso Chileno**

Nivel de Ingresos	Generación (kg/cápita/día)	Generación (m <sup>3</sup> /cápita/año) *	Rango tasa de crecimiento media anual (%)	Tasa de crecimiento media anual sugerida (%)
Alto	1,38	3,22	0 - 1	0,5
Medio	1,05	2,45	1 - 2,5	1,8
Bajo	0,88	2,05	2,5 - 4,5	3,5

\* Se utilizó la densidad de basura suelta en recipientes entregado por CONAMA (2006), que equivale a 150 Kg/m<sup>3</sup>

Fuente: MIDEPLAN, 2009.

Por último, la proyección del crecimiento poblacional se realizó en base a los datos históricos de censos realizados por el INE (2002).

#### 4 VISION DE LAS EMISIONES DE GEI DEL SECTOR RESIDUOS ANTRÓPICOS AL AÑO 2006

En los siguientes párrafos se presenta la situación existente hacia el año 2006 respecto a la generación de residuos, con particular énfasis en los RSM y las aguas residuales, las tecnologías asociadas a ellas en ese año y la visión sobre mejoras a futuro.

Se debe considerar que la mayor cantidad de habitantes a nivel nacional (cerca 40 % del país) se concentra en la Región Metropolitana, y por ende la mayor cantidad de residuos domiciliarios generados corresponde a esta Región. Entre el 2001 y 2002 se inició la operación de 2 rellenos sanitarios, esto es adicional a uno ya existente que operaba desde 1996, estos tres rellenos desde el 2002 reciben la mayor cantidad de residuos domiciliarios de la Región Metropolitana, cooperando también un cuarto relleno en la zona de Melipilla, en menor medida. Los tres grandes rellenos sanitarios existentes son proyectos concebidos desde su origen con recolección de lixiviados y recolección de biogás, a diferencia de los vertederos controlados existentes antes de esta fecha (2002), (Cerro de Renca y Lepanto), en que no existía un sistema de recolección de biogás propiamente tal. No obstante, estos rellenos si usaban ventilación para liberación de biogás, por medios de chimeneas construidas para tal fin.

Cabe señalar que los proyectos de grandes rellenos sanitarios, a la fecha en que fueron concebidos, consideraban la recolección de biogás y quema (menor al 5% del total generado), y no se consideraba su aprovechamiento para la generación de energía u otros. No existen, al año 2006, exigencias legales sobre cantidades de biogás a quemar, sino que los rellenos se comprometían a quemar un mínimo en sus Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) o Estudios de Impacto Ambiental (EIA), según correspondiera. La legislación hasta esa fecha sólo obliga a recolectar los residuos y a disponerlos en lugar autorizados.

Se debe considerar además que tanto en la década de los '90 y a mediados de la década del 2000, no existían políticas ni normativas para incentivar el reciclaje. Sin embargo, existe una empresa, SOREPA (filial de las empresas CMPC) que se encarga desde el año 1979 de la recolección de papel y cartón para su reciclaje. Cifras del año 2002 mencionan que el 59% del total de papeles y cartones generados en la Región metropolitana son reciclados, por lo que no llegan a los SEDS. Por otro lado, estudios nacionales indican que desde el año 2000 al 2006, el 5% de los residuos orgánicos (referente a restos de



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



alimentos) son compostados. Sin embargo no existen incentivos para que esta cifra aumente.

El resto de los residuos domiciliarios y asimilables a domiciliarios generados en las actividades industriales son depositados en los rellenos sanitarios y/o vertedero controlados, según sea el caso (década del 90 o posterior al 2000).

En Regiones existían los rellenos sanitarios, vertederos controlados, y vertederos ilegales, existía poca o nula segregación de residuos y de reciclaje, por lo que las mayorías de los residuos recolectados eran dispuestos en los sitios de disposición final.

Otra medida de mitigación aplicada en otros lugares del mundo es la incineración de los RSM, no obstante, en Chile no resulta ser una opción rentable al año 2006. Tampoco se proyecta que la incineración se abra campo en los años posteriores, ya que requiere de grandes inversiones y de un alto consumo de combustibles fósiles que tienen costos altos que se espera que sigan en alza, por lo que esta opción no es considerada.

Por lo tanto, como escenario general al 2006, se puede considerar que un alto porcentaje de los residuos generados a nivel nacional eran dispuestos en rellenos sanitarios (con recolección de biogás). Sin embargo, el biogás es liberado o quemado en antorcha, ya que no existían proyectos de reutilización del biogás. Además, a esa fecha existía poca o nula incentivo de reciclaje, existiendo proyectos exitosos sólo en la Región Metropolitana (caso de reciclaje de papel y cartón) y los residuos dispuestos dicen relación con los residuos domiciliarios y con los residuos asimilables a domiciliarios provenientes de las industrias.

Al igual que en el caso de los RSM, la mayor cantidad de generación de aguas servidas se concentra en la Región Metropolitana. En la década de los años '90, comienza el proceso de construcción de las PTAS, y en la década del 2000 se empiezan a normar las descargas de aguas domésticas y RILes al mar y otros cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos con la publicación de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, DS 90/2000 Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Chile y la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas, DS 46/2002 Ministerio Secretaría General de la Presidencia, Chile. Sin embargo, no es hasta el año 2004 que comienzan a verse los resultados, cuando empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de aguas servidas en la Región Metropolitana. Su proyecto original considera el tratamiento de las aguas a través del sistema de lodos activados y los lodos resultantes de este proceso son enviados a un biodigestor. En este proyecto no se



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**

---



considera reutilizar el biogás generado por el tratamiento de lodos. Es importante considerar que estas aguas servidas se recolectan en conjunto con los riles de la actividad industrial que son posibles de descargar al alcantarillado (DS 609/1998 MOP). Esto último es una práctica general en todo el país.

## 5 METODOLOGÍA

### 5.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La metodología para la categoría de Residuos Sólidos Urbanos, que corresponden a los Residuos Sólidos Municipales (RSM) y asimilables, se realizó en tres partes. La primera corresponde al levantamiento de la información histórica disponible sobre los principales *drivers* que resultan necesarios para los futuros cálculos y proyecciones. Estos son el PIB, PIB per cápita y población, los que fueron proyectados según las tasas de crecimiento entregadas por la contraparte técnica del proyecto. Sin embargo, para el caso de residuos de alimentos, como se verá en los siguientes capítulos, el PIB y el PIB per cápita no fueron utilizados, ya que se mantuvo una misma generación de residuos per cápita para el periodo 2007-2050, independiente del crecimiento del PIB.

La segunda, se enfoca en la identificación y proyección de las variables que resultan clave para la obtención de las emisiones para cada año de proyección, en base a las ecuaciones de cálculo del IPCC, 2006. Las variables clave identificadas corresponden a la Producción de Residuos per cápita o PPC (RSM y asimilables) por tipo de residuos (alimentos, textiles y papel y cartón), y a la fracción de residuos sólidos dispuestos en cada tipo de SEDS por tipo de residuo (relleno sanitario, vertedero controlado y vertedero no controlado).

La tercera parte de esta metodología, corresponde al cálculo anual de las emisiones GEI para el periodo 2007-2050, la que se realizó en base a la metodología propuesta por el documento “Directrices del IPCC 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5 – Desechos”.

Lo anterior se detalla en los títulos siguientes.

#### 5.1.1 Modelos de proyección

##### 5.1.1.1 PIB y Población

Como se mencionó anteriormente, los principales *drivers* para el caso de los RSM, son el PIB, la Población y el PIB per cápita (cociente entre los dos anteriores).

La tasa de crecimiento de la población ( $\Delta P_T$ ) para cada año, ha sido entregada por el equipo MAPS. Para el año 2006 se utiliza la información entregada por el Instituto



INFORME FINAL  
“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”



Nacional de Estadísticas<sup>6</sup> sobre la proyección de la población para el año 2006 a partir del censo del año 2002, al igual que los datos poblacionales históricos (previos al 2006), que son necesarios para poder proyectar la variable PPC para cada año.

En forma paralela, se realizó la proyección del PIB nacional, para lo cual el equipo MAPS también entregó la tasa de crecimiento, en este caso, para 5 escenarios: Referencia, Pesimista, Medio Bajo, Medio Alto y Optimista. Los datos fueron obtenidos de los archivos del Banco Central<sup>7</sup>.

En el Anexo 1, se presenta la metodología de proyección de la población, PIB y PIB per cápita, además de la información histórica utilizada.

#### *5.1.1.2 Producción per cápita de residuos, PPC (ton/hab/año o kg/hab/día)*

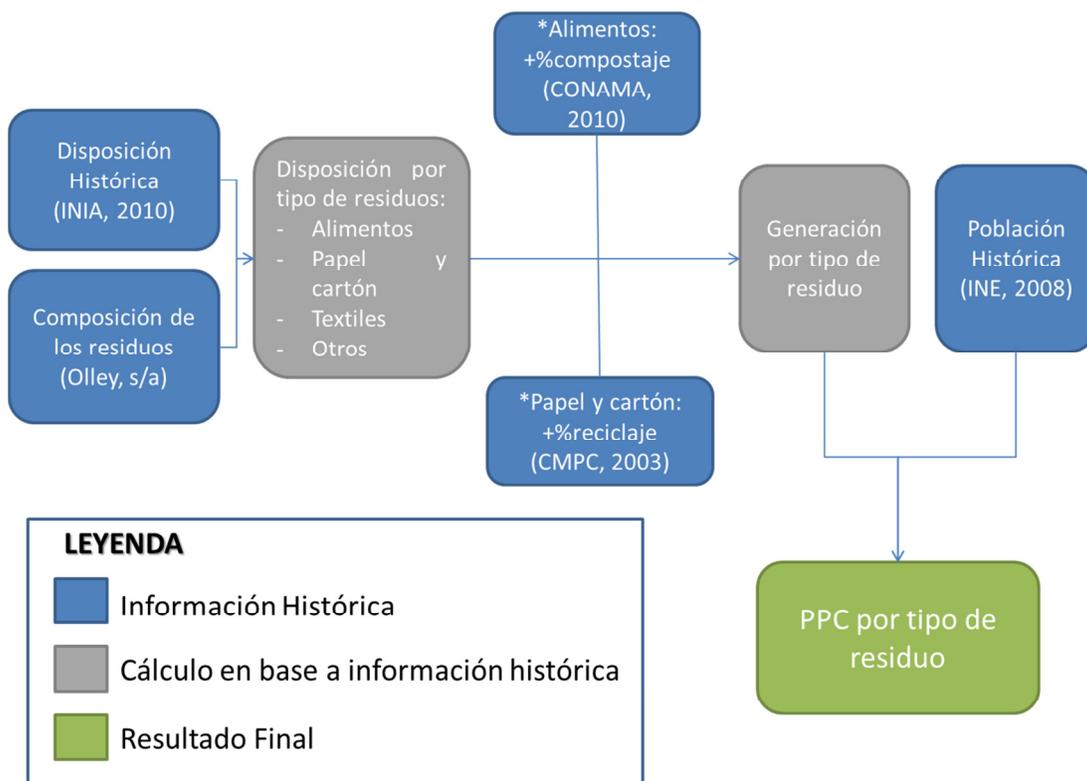
La producción per cápita (medida en toneladas anuales generadas por habitante o kilos diarios generados por habitante) se obtuvo de manera indirecta a partir de datos de disposición en SEDS, composición de residuos y supuestos sobre la tasa de compostaje y de reciclaje de papel.

Para una mejor comprensión de este proceso, se presenta a continuación un esquema (ver Figura 1) que explica el paso a paso que se siguió para obtener el PPC a partir de la cantidad total de residuos que se destinaron en los SEDS.

---

<sup>6</sup> Datos obtenidos del sitio web oficial del Instituto Nacional de Estadística en: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/familias/demograficas\\_vitales.php](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php)

<sup>7</sup> Datos obtenidos del sitio web oficial del Banco Central en: <http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/arboles.aspx>



**Figura 1. PPC a partir de datos de Disposición**

El esquema representa la metodología aplicada según los siguientes pasos:

1. Recopilación de información histórica: La información principal para la obtención del PPC de RSU sería la generación total y la población. Sin embargo, esta información no se encuentra disponible, por lo que se utilizaron datos de disposición y se recopiló información sobre la valorización de residuos, es decir, la fracción de RSU que no llega a los SEDS. Además, para desagregar por tipo de residuo, se revisó bibliografía sobre la composición de los residuos. Por último, se recopilaron los datos de población histórica, a través del INE (2008).
2. Total de Residuos Dispuestos en SEDS por tipo: La información de disposición corresponde a cifras totales de residuos que ingresan a SEDS a nivel nacional. Por esto, se aplicaron los porcentajes de composición de residuos sobre estos totales, para cada año, y así se obtuvo el total dispuesto por tipo de residuo.
3. Total de Residuos Generados por tipo: A partir de los residuos dispuestos según su tipo, se obtuvo la Generación total de alimentos, papel y cartón, textiles, y otros residuos. Para esto, al total dispuesto de residuos alimenticios se sumó el

porcentaje de alimentos que fueron enviados a compostaje (5% a nivel nacional), y a papel y cartón se le sumó el porcentaje enviado a reciclaje (un 59% y sólo en el caso de la RM). Para el caso de textiles y otros residuos, al no contar con suficiente información sobre su valoración, se asumió que la cantidad generada es igual a la dispuesta en SEDS.

4. PPC por tipo de residuo: Conocidos los valores de generación total por tipo de residuo, se dividieron por la población nacional del año correspondiente, obteniendo así el PPC por tipo de residuo.

A partir de estos resultados, se trabajó en la proyección de los datos para el periodo 2007-2050.

Al igual que en el cálculo histórico, la proyección se trabajó de forma diferenciada según tipo de residuo. Por un lado, el PPC de alimentos se mantuvo constante a lo largo del periodo 2007-2050, ya que, de acuerdo a lo discutido en el Grupo Técnico de Trabajo (GTT) del equipo MAPS, se puede suponer que la generación per cápita de este tipo de residuos no varía en relación a los ingresos, debido a que, independiente de los ingresos de una persona, ésta seguirá consumiendo la misma cantidad de alimentos. De acuerdo a esto, la proyección de la generación anual total de residuos de alimentos va a depender únicamente del tamaño poblacional.

Por otro lado, se proyectó el PPC correspondiente a otros tipos de residuos (no alimentos): papeles y cartones, residuos textiles y otros residuos, fue proyectado de manera agregada para todos los residuos no alimentos, a nivel nacional, mediante un modelo econométrico que utiliza como *drivers* principales del PIB nacional y la población nacional.

Para desarrollar el modelo econométrico para la variable PPC residuos no alimentos nacional, fue necesario procesar la información histórica disponible, de modo de construir la variable antes mencionada. Para ello, se consideraron datos históricos provenientes de la Actualización de Inventarios Anuales de Gases de Efecto Invernadero de Chile (INIA, 2010). En este trabajo se presentan las cifras sobre la cantidad de RSM y asimilables dispuesta en SEDS a escala regional, desde año 1984 hasta el año 2006.

A partir de la cantidad anual de residuos dispuestos, para hacer la desagregación por tipo de residuos dispuestos, fue necesario definir la composición. Si bien existen datos nacionales como los expuestos en el estudio realizado por la Pontificia Universidad



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Católica de Valparaíso para la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) el año 2006, éstos no representan una serie histórica consistente, ya que es una compilación de informes y estudios realizados con metodologías y objetivos distintos entre sí, por lo que los valores de distintos años no son comparables entre sí. Es por esta razón que se recurrió a información internacional (Olley, sin año), que presenta valores típicos de composición de residuos dispuestos, para países en desarrollo y desarrollados. Vale aclarar que los valores de composición correspondientes a países en desarrollo están dentro de los rangos nacionales presentados en el estudio de CONAMA (2006).

La composición utilizada para desagregar los datos históricos de residuos dispuestos corresponde a la siguiente (Olley, s/a):

- Residuos de Alimentos: 56% del total dispuesto.
- Papeles y Cartones: 15,5% del total dispuesto.
- Residuos Textiles: 5% del total dispuesto.
- Otros Residuos: 23,5% del total dispuesto.

Si bien es sabido que la composición de los residuos destinados a SEDS varía año a año, lo cual depende del nivel de consumo, las tasas de reciclaje, compostaje, reutilización, etc., como se mencionó anteriormente, no existen estudios con información histórica representativa, por lo que se asume que la composición histórica de los residuos dispuestos en SEDS (%) ha sido constante en el tiempo, es decir, la composición es la misma para todos los datos históricos (1984-2006).

Conociendo la disposición total nacional, se aplicaron los porcentajes de composición de residuos dispuestos, para obtener los valores de disposición por tipo de residuo. Luego se agregó el porcentaje de los residuos que no han llegado a vertederos ni rellenos, de manera de obtener los valores de generación por tipo de residuo. Estos corresponden a los papeles y cartones enviados a reciclaje y a los desechos de alimentos destinados a compostaje. Por lo tanto, los valores de disposición y generación se diferencian al ser estos últimos mayores en los residuos de alimentos y papeles y cartones.

Las tasas de compostaje y reciclaje utilizadas en la etapa descrita anteriormente son las siguientes:

- Compostaje: El valor a utilizar corresponde al 5% de los residuos de alimentos generados a nivel país (CONAMA, 2010). Debido a

que no existe información regional sobre compostaje, este valor se utilizará por igual para todas las regiones.

- Reciclaje: El porcentaje de papeles y cartones enviados a reciclaje es el 59% del total generado en la Región Metropolitana (CMPC, 2003). No existen a la fecha cifras oficiales sobre el reciclaje en regiones, por lo que asumió este como un 0%.

En el caso de textiles, no existe información sobre su valorización, por lo tanto, se trabajó bajo el supuesto de que el total de los residuos textiles generados son enviados a rellenos sanitarios o vertederos. Lo mismo ocurre en el caso de otros residuos.

Considerando lo descrito anteriormente, se determinó el PPC histórico para cada tipo de residuo en forma separada a nivel nacional. A partir de esto se deriva el PPC de alimentos del año 2006, el cual se supuso constante para todo el horizonte de proyección. Por otra parte, se obtuvo el PPC de residuos no alimentos a nivel nacional, agregando los datos correspondientes a residuos distintos de alimentos. Con esta variable se generó el siguiente modelo econométrico (en Anexo 2 se pueden observar los detalles de este modelo):

**Ecuación 2. Modelo econométrico de proyección PPC No alimentos**

$$PPCNOalim_{Nac,T} = 0,061 + 0,032 \times [\ln(PIB_T/POB_T)] + 0,92 \times \ln(PPCNOalim_{Nac,T-1})$$

Donde,

$PPCNOalim_{Nac,T}$	: Producción per cápita nacional de residuos no alimenticios para el año T
$PIB_T$	: PIB nacional para el año T
$POB_T$	: Población nacional para el año T
$PPCNOalim_{Nac,T-1}$	: Producción per cápita nacional de residuos no alimenticios para el año T-1

La información utilizada para elaborar el modelo se presenta a continuación.

**Cuadro 4. Datos utilizados para obtención de modelo de proyección: Generación per cápita para residuos no alimentos**

Año	PIB Nacional (\$MM)	Población Nacional	PPC Papel y Cartón (kg/hab/día)	PPC Textil (kg/hab/día)	PPC Otros Residuos (kg/hab/día)	PPC Total Residuos No Alimentos (kg/hab/día)
1990	25.142,43	13.178.782	0,18	0,03	0,15	0,36
1991	27.136,67	13.422.010	0,18	0,03	0,15	0,37
1992	30.438,18	13.665.241	0,18	0,03	0,16	0,37
1993	32.559,29	13.908.473	0,19	0,03	0,16	0,38
1994	34.416,72	14.151.708	0,19	0,03	0,16	0,39
1995	38.028,59	14.394.940	0,19	0,03	0,16	0,39
1996	40.831,60	14.595.504	0,20	0,04	0,17	0,40
1997	43.526,55	14.796.076	0,20	0,04	0,17	0,41
1998	44.944,34	14.996.647	0,21	0,04	0,18	0,42
1999	44.616,35	15.197.213	0,21	0,04	0,18	0,43
2000	46.605,20	15.397.784	0,22	0,04	0,18	0,44
2001	48.165,63	15.571.679	0,21	0,04	0,18	0,43
2002	49.209,33	15.745.583	0,21	0,04	0,19	0,44
2003	51.156,42	15.919.479	0,22	0,04	0,19	0,45
2004	54.246,82	16.093.378	0,22	0,04	0,20	0,46
2005	57.262,64	16.267.278	0,22	0,04	0,20	0,47
2006	59.890,97	16.432.674	0,23	0,04	0,21	0,48

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la proyección del PPC de residuos no alimentos a nivel nacional, los datos fueron procesados para poder obtener valores separados para Región Metropolitana y Otras Regiones, y luego desagregarlos según papel y cartón, textil y otros residuos. Para ello, para cada año de proyección se consideró lo siguiente:

1. Desagregación PPC no alimentos en Región Metropolitana y otras regiones:  
 Considerando que la generación per cápita de residuos en la Región Metropolitana es mayor que en otras regiones, en lugar de asumir el mismo valor de PPC de residuos no alimentos por igual para todas las regiones, se separó el valor nacional en un valor para la Región Metropolitana y otro para otras regiones. Para ello, se

consideró que el valor proyectado de PPC de residuos no alimenticios nacional es un promedio ponderado del PPC no alimentos de la Región Metropolitana y el PPC no alimento de otras regiones:

### Ecuación 3. Desagregación PPC no alimentos por región

$$PPC\ NO\ alim_{nacional,T} = (PPC\ NO\ alim_{RM,T} * POB_{RM,T} + PPC\ NO\ alim_{OR,T} * POB_{OR,T}) / POB_{nacional,T}$$

Donde,

$PPC\ NO\ alim_{nacional,T}$	: Generación per cápita de residuos no alimenticios a nivel nacional para el año T. Este valor se obtuvo del modelo econométrico.
$PPC\ NOalim_{RM,T}$	: Generación per cápita de residuos no alimenticios para la Región Metropolitana y para el año T
$POB_{RM,T}$	: Población total de la Región Metropolitana para el año T
$PPC\ NOalim_{OR,T}$	: Generación per cápita de residuos no alimenticios para las Otras Regiones y para el año T
$POB_{OR,T}$	: Población total de Otras Regiones para el año T
$POB_{nacional,T}$	: Población total Nacional para el año T

A partir de la expresión anterior, es posible determinar los valores de PPC no alimentos para la Región Metropolitana y para otras regiones, conociendo la relación entre el PPC no alimentos de la Región Metropolitana y el PPC no alimento de otras regiones. Para ello, se consideró la relación histórica existente entre el PPC no alimentos de la Región Metropolitana y el PPC no alimento de otras regiones, y así determinar la relación futura entre dichas variables. En base a la información histórica, existe una relación  $PPCNOalim_{RM}/PPCNOalim_{OR}$  decreciente, es decir, la tasa de crecimiento histórico del  $PPCNOalim_{OR}$  ha sido mayor que la del  $PPCNOalim_{RM}$ . Por lo anterior, para la proyección se realizó una regresión lineal de la fracción  $PPCNOalim_{RM}/PPCNOalim_{OR}$ , considerando los últimos registros históricos, lo que permitió proyectar relación para el período de proyección 2007-2050. Teniendo esta relación y considerando la ecuación anterior, se obtuvo la desagregación de  $PPCNOalim_{nacional}$  en  $PPCNOalim_{RM}$  y  $PPCNOalim_{OR}$ .

2. Determinación de PPC total para Región Metropolitana y otras regiones:

Una vez obtenidos los valores proyectados de PPCNOalim<sub>RM</sub> y PPCNOalim<sub>OR</sub> y considerando el valor fijo de PPC alimentos para todos los años de proyección, se obtuvo el PPC total para la región metropolitana y PPC total para otras regiones, sumando en cada caso el PPC alimentos y el PPC no alimentos.

3. Desagregación de PPC por tipo de residuo:

Una vez obtenido el PPC total para la Región Metropolitana y para otras regiones, se determinó la composición de residuos generados, de manera separada para la Región Metropolitana y para otras regiones<sup>8</sup>. Considerando que del paso anterior se conoce la proyección del PPC alimentos en forma separada, se determinó la fracción que representa el PPC de alimentos sobre el PPC total. Para determinar las fracciones de composición de residuos generados correspondientes a los otros tipos de residuos, se consideró la referencia internacional (Olley, s/a), que presenta la composición en destino para países en desarrollo y desarrollados. Dado que en este análisis se trabajó con residuos generados, se adaptaron los valores de composición en destino, tomando en cuenta las tasas de compostaje y reciclaje descritas anteriormente, para obtener los valores de composición en origen. Considerando que la Región Metropolitana se tiene compostaje y reciclaje y en otras regiones se tiene sólo compostaje, se determinó una composición en origen distinta para Región Metropolitana y otras regiones. Los valores de composición en destino de la referencia internacional y los valores obtenidos de la composición en origen son los siguientes:

**Cuadro 5. Porcentajes de composición de RSU para países en desarrollo**

Tipo de residuo	Composición país en desarrollo		
	En destino	En Origen	
		RM	OR
Desechos de alimentos	56%	47,1%	57,3%
Papel y cartón	15,50%	30,2%	15,1%
Residuos textiles	5%	4,0%	4,9%
Otros residuos	23,50%	18,8%	22,8%

Fuente: Elaboración propia en base a Olley, s/a.

<sup>8</sup> En este contexto, la composición de residuos generados se refiere a la composición de los residuos en el punto de generación, o “en origen” y la composición de residuos dispuestos se refiere a la composición en el punto de disposición (vertedero/relleno sanitario), o “en destino”. Esto último no considera aquellos residuos cuyo destino final es compostaje o reciclaje.

**Cuadro 6. Porcentajes de composición de RSU para países desarrollados**

Tipo de residuo	Composición país desarrollado		
	En destino	En origen	
		RM	OR
Desechos de alimentos	25%	17,3%	26,0%
Papel y cartón	35,00%	56,3%	34,5%
Residuos textiles	3%	2,0%	3,0%
Otros residuos	37,00%	24,4%	36,5%

Fuente: Elaboración propia en base a Olley, s/a

Considerando la composición de residuos generados en dos condiciones distintas, país en desarrollo y desarrollado, y conociendo la fracción que representa el PPC de alimentos sobre el PPC total, se obtienen las fracciones de los otros tipos de residuos mediante interpolación. Por ejemplo, si se tiene por ejemplo, una fracción de alimentos para la Región Metropolitana de 42%, se obtienen fracciones de papel de 34,6%, textil de 3,6% y otros residuos de 19,7%.

### **5.1.1.3 Fracción de residuos sólidos dispuestos según tipo de SEDS**

Para realizar la proyección, se utilizó el supuesto de que cada 10 años, el 50% de la fracción de residuos dispuestos en vertederos controlados y no controlados serían dispuestos en rellenos sanitarios. Por ejemplo, si las fracciones están dispuestas de la siguiente manera para el año 2010: 0,5 en relleno sanitario, 0,25 en vertedero controlado y 0,25 en vertedero no controlado, para el año 2020 quedarían de la siguiente manera: 0,75 en relleno sanitario, 0,125 en vertedero controlado y 0,125 en vertedero no controlado. Este supuesto se basa en que la elaboración de un proyecto para contar con un nuevo relleno sanitario, su tramitación y toma, al menos, 10 años en finalizar. Tiempo en el que recién se podrían destinar desechos que antes se dirigían a los vertederos. Esto es consistente con lo que ha ocurrido históricamente en el país.



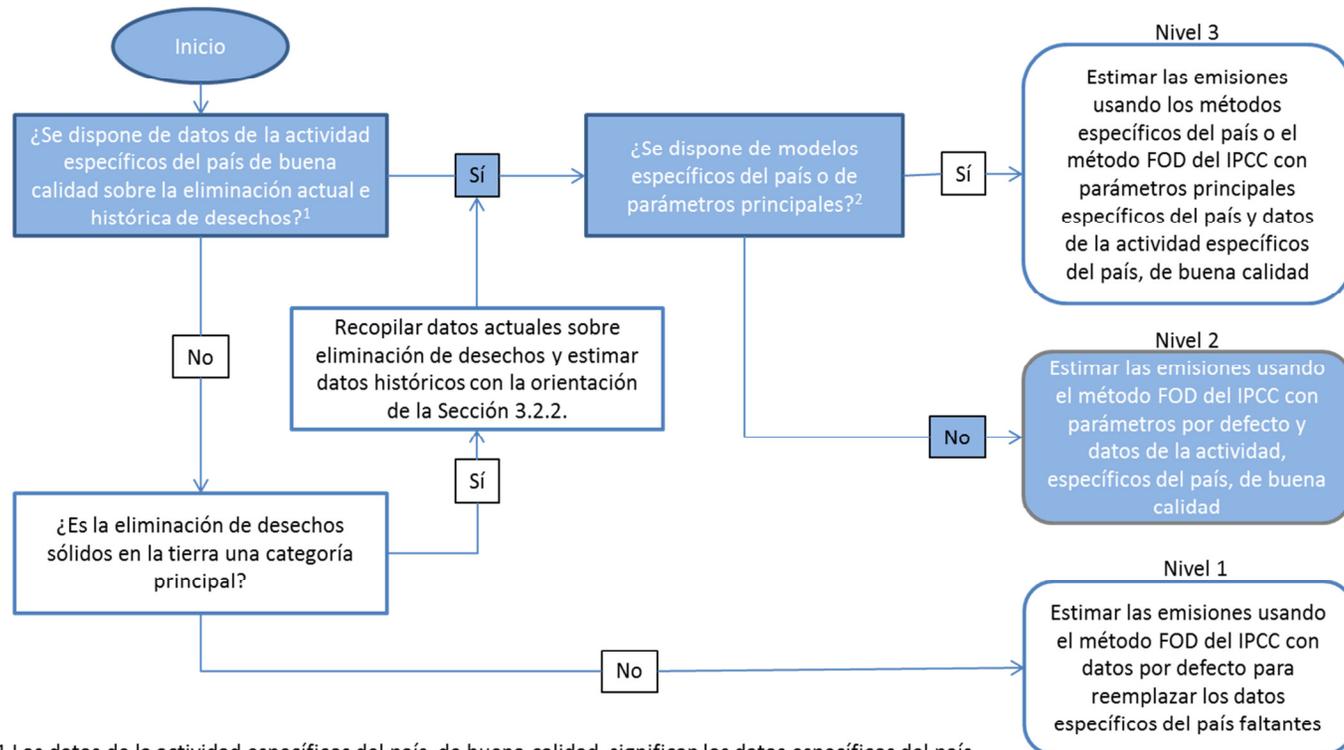
*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



### **5.1.2 Cálculo de emisiones mediante metodología de descomposición de primer orden (FOD)**

Para la elección del método a utilizar (Nivel 1, 2 o 3), se aplicó el “Árbol de decisión para las emisiones de CH<sub>4</sub>, provenientes de los sitios de eliminación de los desechos sólidos” del IPCC (2006).

En base a la información disponible, tomando en cuenta que la evolución de ella no ha sido significativa desde el año 2009 y que se trata de la categoría principal en el aporte de emisiones, se utilizó el Nivel 2. En la siguiente figura se explica el proceso de elección del método, destacando con color celeste el camino recorrido para llegar al Nivel 2.



1 Los datos de la actividad específicos del país, de buena calidad, significan los datos específicos del país sobre desechos eliminados en SEDS durante 10 años o más

2 Los parámetros principales significan  $DOC/L_0$ ,  $DOC_t$  y vida media

**Figura 2. Árbol de decisión para las emisiones de CH<sub>4</sub>, provenientes de los sitios de eliminación de los desechos sólidos, IPCC 2006.**



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Como se observa en la figura anterior, en primer lugar se definió que se cuenta con información de calidad sobre eliminación de desechos en SEDS, puesto que el INIA (2010) presenta esta información desde el año 1984 en las planillas de cálculo correspondientes al estudio “Complementos y Actualización del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los Sectores de Agricultura, Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, y Residuos Antrópicos”.

En cuanto a los modelos específicos del país o parámetros específicos, como se ha mencionado con anterioridad, no se han realizado estudios representativos de la realidad nacional en esta materia, por lo que el método a utilizar corresponde al Nivel 2.

Esta metodología de cálculo de emisiones en el IPCC 2006 utiliza el método de descomposición de primer orden (FOD, por su sigla en inglés) el cual se basa en la hipótesis de que el componente orgánico degradable (DOC, por sus siglas en inglés) de los desechos se descompone lentamente a lo largo de los años (pocas décadas), tiempo en el cual se forman  $\text{CH}_4$ . Esto genera que las mayores emisiones de gases ocurran durante los primeros años de la eliminación y luego, esta liberación decae a medida que los desechos son consumidos por las bacterias. Esta metodología de cálculo, por tanto, incorpora el factor tiempo en sus emisiones, considerando el carbono acumulado en los SEDS en el transcurso de los años.

Este método consta de una serie de ecuaciones de cálculo de emisiones entregadas por el IPCC 2006 en donde se requiere calcular:

- Carbono orgánico degradable disuelto a partir de los datos sobre eliminación de desechos
- Cantidad de carbono orgánico degradable disuelto acumulado en los SEDS al término del año T
- Cantidad de carbono orgánico degradable disuelto descompuesto en los SEDS al término del año T
- $\text{CH}_4$  generado a partir del carbono orgánico degradable disuelto en descomposición al año T.

Para finalmente obtener el total anual de  $\text{CH}_4$  emitido en base a la siguiente ecuación:

#### Ecuación 4. Emisión total de CH<sub>4</sub> por Residuos Sólidos

$$\text{Emisiones de } CH_{4T} = \left[ \sum_i CH_4 \text{ generado}_{i,T} - R_T \right] \times (1 - OX_T)$$

Donde:

*Emisiones de CH<sub>4T</sub>* : CH<sub>4</sub> emitido durante el año T, en Gg.

*T* : Año

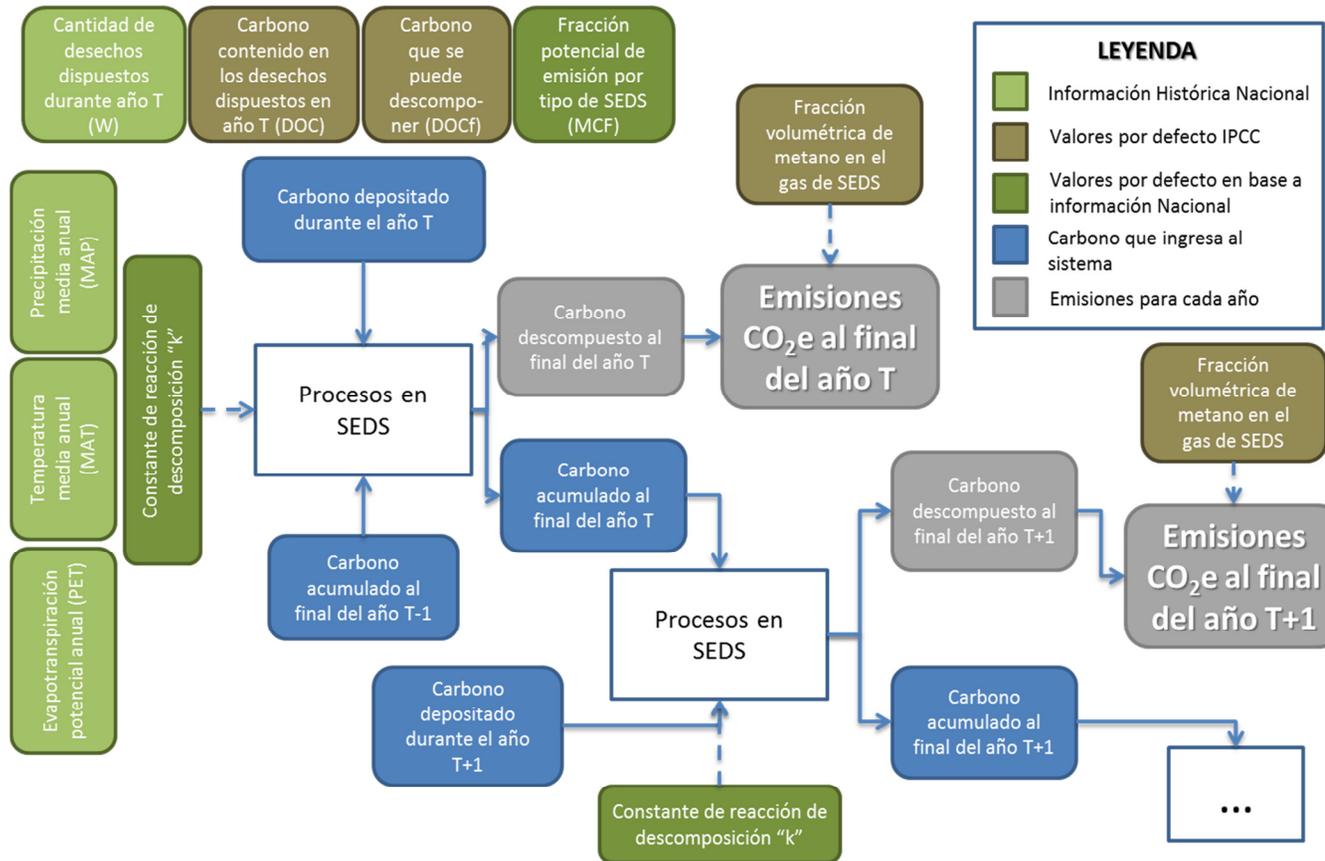
*i* : Categoría o tipo de desecho y/o material

*CH<sub>4</sub> generado<sub>i,T</sub>* : CH<sub>4</sub> emitido durante el año T, por el tipo de residuo i, en Gg.

*R<sub>T</sub>* : Porcentaje de CH<sub>4</sub> recuperado durante el año T, en Gg.

*OX<sub>T</sub>* : Factor de oxidación durante el año T, (fracción)

Para una mejor comprensión de esta metodología, a continuación se presenta un esquema a modo de resumen del método FOD.



**Figura 3. Método FOD. Elaboración propia**

### 5.1.2.1 Carbono orgánico degradable disuelto a partir de los datos sobre eliminación de desechos

El  $DDOC_m$  (Carbono Orgánico Degradable Disuelto, por su sigla en inglés) corresponde a la masa de DOC que realmente se degrada bajo condiciones anaeróbicas en los SEDS.

En base a la información disponible sobre disposición de residuos sólidos obtenida de la actualización del inventario (INIA, 2010), fue posible obtener este dato a nivel regional.

Este cálculo se realizó por tipo de residuos en base a la siguiente ecuación:

#### Ecuación 5. DOC disuelto a partir de los datos sobre la eliminación de desechos

$$DDOC_{m,i} = W_{T,i} \times DOC_i \times DOC_f \times MCF_T$$

Donde:

- $DDOC_{m,i}$  : Masa del carbono orgánico degradable disuelto (que se degrada en condiciones anaeróbicas en los SEDS) por tipo de residuo  $i$ , Gg
- $W_{T,i}$  : Masa de los desechos depositados durante el año T por tipo de residuo  $i$ , Gg
- $DOC_i$  : Cantidad carbono orgánico degradable presente en W durante el año de disposición (T) por tipo de residuo  $i$ . Se expresa como fracción, Gg de C por Gg de desechos
- $i$  : Categoría o tipo de desecho y/o material ( $i$  = residuos de alimentos, papel y cartón, textiles y otros residuos)
- $DOC_f$  : Fracción del DDOC que puede descomponerse. Esta variable representa la cantidad de carbono que finalmente se degrada en los SEDS y representa el hecho de que una parte del carbono no se degrada o se degrada muy lentamente.
- $MCF_T$  : Factor de corrección de  $CH_4$  para la descomposición aeróbica durante el año de disposición (fracción). El factor da cuenta de que los SEDS no controlados producen menos  $CH_4$  a partir de una determinada cantidad de desechos, que los SEDS controlados,

debido a que la fracción de desechos que se descompone aeróbicamente (y no anaeróbicamente) en las capas superiores de los SEDS no controlados es mayor.

La variable  $W_{T,i}$ , correspondiente a la masa dispuesta en SEDS de cada tipo de residuo, proviene del PPC que fue proyectado anteriormente. A partir de dicho PPC, y al multiplicarlo por la población propia de cada región, se obtiene la generación total de residuos sólidos a nivel regional. A este valor se le descontó el porcentaje de residuos que no llegan a sitios de disposición final por ser compostados o reciclados.

Dichos porcentajes, compostaje y reciclaje de papel, corresponden a valores fijos en el tiempo. Esto se debe a que no existen datos históricos suficientes para realizar una proyección confiable. En el caso del compostaje, sólo se cuenta con información oficial desde el año 2000 y a nivel nacional, por lo que se mantuvo el 5% del total de restos de alimentos presentado al año 2006<sup>9</sup>, para todas las regiones por igual. Por otro lado, el reciclaje de papel, se aplicó solo para la Región Metropolitana y se mantuvo un porcentaje correspondiente al 59% del total de papeles y cartones de esta región<sup>10</sup>.

Los valores de  $DOC_i$  utilizados corresponden a valores por defecto de contenido de DOC en porcentaje de desechos húmedos, obtenidos del IPCC (2006), los cuales se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 7. Fracción del DOC que realmente se descompone, según tipo de residuo.**

Descripción de series	Contenido de DOC en % de desechos húmedos
	Por defecto
Papel/cartón	40
Textiles	24
Desechos de alimentos	15

Fuente: IPCC, 2006.

<sup>9</sup> Información obtenida del “Primer Reporte del manejo de Residuos Sólidos en Chile” de CONAMA (2010).

<sup>10</sup> Información obtenida del Reporte de Desarrollo Sostenible del año 2003 de las empresas CMPC en el link: <http://www.cmpc.cl/wp-content/uploads/2010/04/Memoria-Ambiental-2003.pdf>

La siguiente variable de la ecuación de  $DDOC_m$ , es el  $DOC_f$ , el cual fue considerado un valor por defecto ya que, según el IPCC (2006): "Es una buena práctica usar valores de  $DOC_f$  específicos de los tipos de desechos sólo cuando los datos sobre la descomposición de los desechos se basan en muestreos representativos y en análisis". Como en Chile no se han realizado al 2006 estudios ni muestreos representativos a nivel nacional o regional, se utilizó el valor recomendado: 0,5<sup>11</sup>.

Por último, el  $MCF$  es la última variable respecto a la Ecuación 5, de  $DDOC_m$ . Como se mencionó en la sección Modelos de Proyección, esta es una variable que depende de la distribución de los residuos sólidos entre los distintos tipos de SEDS, lo cual se proyectó en base al supuesto de que cada 10 años, existiría un cambio en la disposición de los residuos. Para obtener los valores de MCF, se realizó un promedio de todos los valores por defecto MCF ponderados por la fracción de los residuos enviados a cada tipo de SEDS, de manera de obtener un valor de MCF ponderado de todos los tipos de SEDS a nivel regional. Los valores de MCF por defecto para cada tipo e SEDS, se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 8. Valores de Factor de Corrección del Metano (MCF)**

Tipo de Sitio	MCF (Valor por defecto)
Gestionado - Anaeróbico	1
No gestionado - poco profundo (< 5m de desechos)	0,4
SEDS no categorizado	0,6

Fuente: IPCC, 2006.

Obtenidas todas las variables descritas y aplicando la ecuación 5, se calculó el  $DDOC_m$  para cada año de proyección.

#### **5.1.2.2 Cantidad de carbono orgánico degradable disuelto acumulado en los SEDS al término del año T**

Esta variable está dada por la siguiente ecuación:

<sup>11</sup> Recomendación IPCC (2006) en página 3.15, primer párrafo.

**Ecuación 6. DDOC<sub>m</sub> acumulado en los SEDS al término del año T**

$$DDOC_{ma_T} = DDOC_{md_T} + (DDOC_{ma_{T-1}} \times e^{-k})$$

Donde,

DDOC<sub>ma<sub>T</sub></sub> : DDOC<sub>m</sub> acumulado en los SEDS al final del año T, Gg

DDOC<sub>ma<sub>T-1</sub></sub> : DDOC<sub>m</sub> acumulado en los SEDS al final del año (T-1), Gg

DDOC<sub>md<sub>T</sub></sub> : DDOC<sub>m</sub> depositado en los SEDS durante el año T (corresponde a DDOC<sub>m</sub> calculado en la ecuación 5), Gg

*k* : Constante de reacción, años<sup>-1</sup>

Para el caso del DDOC<sub>ma<sub>T</sub></sub>, se requiere el valor del DDOC<sub>m</sub> recién calculado, que ahora pasa a denominarse DDOC<sub>md<sub>T</sub></sub>, que corresponde al DDOC<sub>m</sub> depositado en los SEDS al final del año T. Además de esta variable, se requiere conocer el DDOC<sub>m</sub> acumulado en los SEDS al final del año T-1, considerando que no existen cálculos previos para este valor, se le asignará el valor 0 al año T-1=2006.

Por otro lado, existe la variable *k*, que corresponde al índice de generación de metano. Este dato corresponde a un valor por defecto entregado por el IPCC 2006 en su cuadro 3.3 de la página 3.18, en función de la zona climática y por tipo de residuo. Para conocer a qué zona climática pertenece cada región, se utilizaron datos de temperatura y precipitación históricas obtenidas de los Anuarios Climatológicos de Chile del periodo 1980-2006 de la Dirección Meteorológica de Chile, y la evapotranspiración, del Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIREN).

En el Anexo 6 se presenta mayor detalle en relación a la variable *k*.

Cabe hacer la salvación de que este cálculo se realizó a partir del año 2006, por lo que, para efectos de éste año, el DDOC<sub>ma<sub>T</sub></sub> es igual al DDOC<sub>md<sub>T</sub></sub>, ya que no existe información para el DDOC<sub>ma<sub>T-1</sub></sub> correspondiente al año 2005.

**5.1.2.3 Cantidad de carbono orgánico degradable disuelto descompuesto en los SEDS al término del año T**

Posterior a esto, fue necesario calcular el carbono orgánico degradable disuelto descompuesto para cada año, lo que se realizó por medio de la siguiente ecuación:

**Ecuación 7. DDOC<sub>m</sub> acumulado en los SEDS al término del año T**

$$DDOC_{m\ descomp_T} = DDOC_{ma_{T-1}} \times (1 - e^{-k})$$

Dónde,

DDOC<sub>m descomp<sub>T</sub></sub> : DDOC<sub>m</sub> descompuesto en los SEDS durante el año T, Gg

DDOC<sub>ma<sub>T-1</sub></sub> : DDOC<sub>m</sub> acumulado en los SEDS al final del año (T-1), Gg

*k* : Constante de reacción, años<sup>-1</sup>

Es importante esclarecer que, al ser ésta una ecuación que sucede a la anterior, corresponde a cálculos que van un año más adelante. Por ejemplo, si en la ecuación anterior se calculó el  $DDOC_{ma_T}$  para el año 2006, en esta ecuación pasa a ser el valor de  $DDOC_{ma_{T-1}}$ , y así sucesivamente.

**5.1.2.4 CH<sub>4</sub> generado a partir de los DDOC<sub>m</sub> en descomposición**

Una vez obtenido el  $DDOC_{m\ descomp_T}$ , es posible proyectar el CH<sub>4</sub> generado para cada año, mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 8. Proyección de CH<sub>4</sub> generado a partir de los DDOC<sub>m</sub> en descomposición**

$$CH_4\ generado_T = DDOC_{m\ descomp_T} \times F \times 16/12$$

Dónde,

CH<sub>4</sub>generado<sub>T</sub> : Cantidad de CH<sub>4</sub> generado a partir del material en descomposición

DDOC<sub>m descomp<sub>T</sub></sub> : CH<sub>4</sub> descompuesto durante el año T, Gg

F : Fracción volumétrica de CH<sub>4</sub>, en el gas de vertedero generado (fracción)

16/12 : Cociente de pesos moleculares entre CH<sub>4</sub> y C



INFORME FINAL  
“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”



La fracción volumétrica de  $\text{CH}_4$  en el gas de vertedero, corresponde a un valor por defecto entregado por el IPCC 2006 y que alienta a utilizar este valor, ya que la mayor parte de los desechos generan un gas con aproximadamente 50% de metano, por lo que el factor utilizado corresponde a 0,5.

Finalmente, hay que considerar que no siempre se emite todo el metano que es generado, por lo que se aplicó la ecuación 2 presentada en un comienzo. En ella se presentan dos factores:  $R_T$  y  $OX_T$ .

El primero corresponde a la fracción de metano que se recupera por medio de tecnologías propias de cada SEDS y que, tal como recomienda el IPCC 2006, fue definido como cero al año 2006, ya que no existe documentación suficiente para conocer la cantidad de metano recuperado. Tal como se comentó en la sección Visión de las Emisiones de GEI del Sector Residuos Antrópicos al año 2006, las posibilidades de que la incineración se convierta en una alternativa real para la recuperación de metano en rellenos sanitarios, son muy bajas por el alto costo que implicaría su implementación, por lo que no se considerará dentro de las proyecciones, manteniéndose el valor cero para  $R_T$ . Sin embargo, se encontró bibliografía que menciona el compromiso voluntario de algunos rellenos sanitarios en la RM de quemar el 5% del biogás generado. Es por esto que en el caso de las proyecciones a corto, mediano y largo plazo se considera un escenario de sensibilización donde se espera que se recupere el 5% del metano generado en los rellenos.

El segundo factor mencionado corresponde al factor de oxidación que refleja la cantidad de metano que se oxida en el suelo o en el material que cubre los desechos. Para efectos de este estudio, este valor fue definido como cero, ya que los SEDS nacionales corresponden a SEDS gestionados, no gestionados y no categorizados.

Aplicando la ecuación 2 se obtuvo la proyección de emisiones de metano por el subsector Residuos Sólidos Urbanos para el escenario de referencia y luego, estos resultados fueron multiplicados por el GWP (Potencial de calentamiento global, por su nombre en inglés) que permite convertir el efecto que tiene el metano en el calentamiento global al efecto del dióxido de carbono

### 5.1.3 Fuentes de información

En el cuadro que se presenta a continuación, se resume la información utilizada, tanto para la proyección de variables como para el cálculo año a año de las emisiones de GEI por el sector de Residuos Antrópicos.

**Cuadro 9. Resumen de Fuentes de Información. Residuos Sólidos Urbanos**

<b>Dato</b>	<b>Proyección o Cálculo</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Observación</b>
Población Histórica	Proyección	INE	2008	Programa de Proyecciones de Población	-
Tasa de crecimiento poblacional	Proyección	MAPS	2012	Parámetros transversales a ser utilizados en estudios de Línea Base adjudicados bajo el proyecto MAPS Chile – Agosto 2012	-
PIB Histórico	Proyección	Banco Central	2003	Producto Interno Bruto, a precios constantes, base 2003 (millones de pesos)	-
Tasa de crecimiento PIB	Proyección	MAPS	2012	Parámetros transversales a ser utilizados en estudios de Línea Base adjudicados bajo el proyecto MAPS Chile – Agosto 2012	-
Cantidad de RSM y asimilables dispuestos en SEDS	Proyección	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos.	-
Fracción de RSM dispuesto en distintos tipos de SEDS	Proyección	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y	-

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
				residuos antrópicos.	
Temperaturas Medias Anuales (MAT)	Proyección	Dirección Meteorológica de Chile	1984 a 2007	Anuario Climatológico (para los años 1980 a 2006)	-
Precipitaciones Medias Anuales (MAP)	Proyección	Dirección Meteorológica de Chile	1984 a 2007	Anuario Climatológico (para los años 1980 a 2006)	-
Evapotranspiración Potencial Anual (PET)	Proyección	Centro de Investigación de Recursos Naturales	1997	Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile	-
Composición de RSM dispuesto	Proyección	Olley	sin año	Solid Waste Streams Regional and Cultural Variability	-
Compostaje	Proyección	CONAMA	2010	Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile	-
Reciclaje	Proyección	CMPC	2003	Memoria Social y Ambiental Empresas CMPC S.A.	-
Recuperación de Metano	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Fracción de carbono orgánico degradable en cada tipo de desechos	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Fracción del Carbono Orgánico Degradable Disuelto que puede descomponerse	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
Factor de Oxidación	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Factor de Corrección del Metano	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Fracción volumétrica de CH <sub>4</sub> , en el gas de vertedero generado	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Potencial de calentamiento global de CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O(GWP) (Conversión a emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente)	Cálculo	IPCC	1995	Second Assessment Report, Direct GWP, GWP 100 años	Valor por defecto

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 RESIDUOS LÍQUIDOS

Los Residuos Líquidos son divididos en dos subcategorías: residuos líquidos domiciliarios y residuos líquidos industriales.

### 5.2.1 Residuos líquidos domiciliarios

#### 5.2.1.1 Modelos de proyección

Las aguas residuales correspondientes a este subsector contienen materia orgánica, por lo que, al ser tratadas, podrían generar emisiones de CO<sub>2</sub> según el tipo de tratamiento



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



aplicado. Por esta razón, se requiere proyectar la cantidad de materia orgánica, medida como DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno).

Los residuos líquidos domiciliarios son tratados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas PTAS mediante distintos sistemas: emisarios submarinos, lagunas aireadas, lodos activados, lagunas de estabilización, biofiltros y zanjas de oxidación. Estos sistemas de tratamiento sólo abarcan al sector urbano de la población, puesto que en las zonas rurales, si bien puede o no existir alcantarillado, las aguas recolectadas no son tratadas.

A nivel nacional, existe información histórica sobre la cobertura de cada uno de estos sistemas de tratamiento respecto del total de aguas tratadas. Por ejemplo, para el año 2006 se tiene que casi un 80% de las aguas residuales provenientes de la población urbana están siendo tratadas en las PTAS. Para lograr este 80%, los sistemas de tratamientos aportan con las siguientes fracciones:

- Emisarios submarinos: 0,16
- Lagunas aireadas: 0,09
- Lodos activados: 0,47
- Lagunas de estabilización: 0,05
- Biofiltro: 0,01
- Zanjas de oxidación: 0,01

Para conocer la cantidad de DBO tratada por cada sistema de tratamiento, se proyectaron estos valores. Considerando que la cobertura total de las PTAS en el sector urbano al 2006 alcanza cifras cercanas al 80% y considerando que la tasa de crecimiento histórica de esta cobertura es alta por lo que en pocos años se alcanzará el 100%, es que se consideró como mejor opción de proyección un modelo tendencial para cada sistema de tratamiento en base a información obtenida de las planillas de cálculo del informe “Complementos y Actualización del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los Sectores de Agricultura, Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, y Residuos Antrópicos” del INIA (2010). Esta información se presenta en el Cuadro 10.

Como producto del tratamiento de las aguas residuales o aguas servidas, se genera un lodo doméstico, el cual también contiene DBO, por lo que, al ser tratado, podría generar emisiones GEI. Para proyectar los lodos domésticos se utilizó la misma metodología de modelos tendenciales aplicados para los sistemas de tratamiento de las PTAS.

Las siguientes ecuaciones se utilizaron para proyectar la cobertura:

**Ecuación 9. Proyección Fracción DBO Emisarios Submarinos**

$$ES_T = (0,005 \times T) - 9,9286$$

**Ecuación 10. Proyección Fracción DBO Lagunas Aireadas**

$$LA_T = (9,8876 \times \ln(T)) - 75,114$$

**Ecuación 11. Proyección Fracción DBO Lodos Activados**

$$Lod A_T = (0,0327 \times T) - 65,231$$

**Ecuación 12. Proyección Fracción DBO Lagunas de Estabilización**

$$LE_T = (0,0022 \times T) - 4,3148$$

**Ecuación 13. Proyección Fracción DBO Biofiltro**

$$B_T = (-0,0000001 \times T^2) + (0,0004 \times T) - 0,2589$$

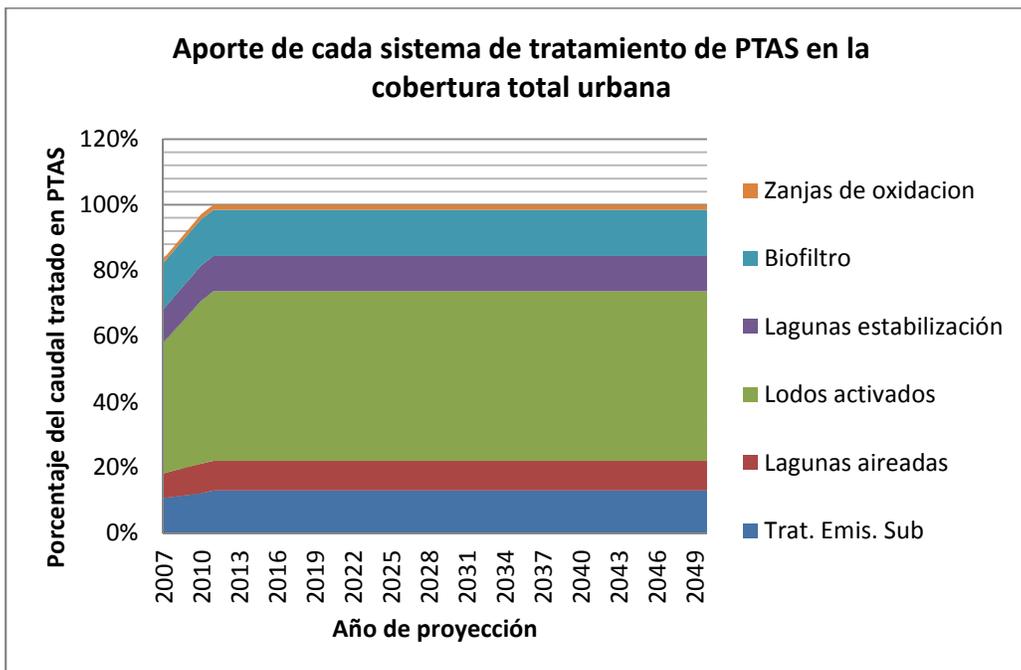
**Ecuación 14. Proyección Fracción DBO Zanjas de Oxidación**

$$Z OX_T = (1,817 \times \ln(T)) - 13,805$$

Donde,

- $ES_T$  : Fracción de DBO tratados por Emisarios Submarinos durante el año T
- $LA_T$  : Fracción de DBO tratados por Lagunas Aireadas durante el año T
- $Lod A_T$  : Fracción de DBO tratados por Lodos Activados durante el año T
- $LE_T$  : Fracción de DBO tratados por Lagunas de Estabilización durante el año T
- $B_T$  : Fracción de DBO tratados por Biofiltros durante el año T
- $T$  : Año de la proyección

A continuación, se presenta un gráfico con los resultados del proceso anterior que corresponde a los porcentajes de aporte de cada sistema de tratamiento y su evolución hasta alcanzar el 100% de cobertura a nivel urbano.



**Gráfico 1. Evolución de la cobertura de las PTAS por tipo de tratamiento**

Por otro lado, como se mencionará más adelante en el capítulo 4.2.1.2 Cálculo de emisiones anuales del sector, para conocer la cobertura de los distintos sistemas de las PTAS, se proyectó la población urbana por región. Para esto, en primer lugar, se obtuvo la información histórica de la población nacional y la información histórica y proyecciones de la población urbana por regiones (disponibles hasta el año 2020), información oficial del INE (2008). Luego, en base a esto, se calculó la fracción de población urbana de cada región respecto a la población total nacional hasta el año 2020. Una vez obtenida dicha fracción, se utilizó la población total nacional proyectada según las tasas de crecimiento entregadas por la contraparte y se multiplicaron por las fracciones obtenidas anteriormente. De esta manera se obtiene una proyección de la población urbana regional.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
 DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
 EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



**Cuadro 10. Datos utilizados para obtención de modelo de proyección: Fracción de caudal tratado por tipo de tratamiento**

<b>Año</b>	<b>Fracción de Emisario Submarino</b>	<b>Fracción de Lagunas Aireadas</b>	<b>Fracción de Laguna de Estabilización</b>	<b>Fracción de Biofiltro</b>	<b>Fracción de Zanjas de Oxidación</b>	<b>Fracción de Lodos activados</b>	<b>Fracción de DBO de lodos domésticos</b>
1991	0,07121	0,00000	0,00667	0,01232	0,00000	0,0000000	-
1992	0,09143	0,01470	0,00720	0,01259	0,00000	0,0000000	-
1993	0,09299	0,01440	0,00762	0,01268	0,00000	0,0000000	-
1994	0,09384	0,01402	0,00795	0,01267	0,00000	0,0000000	-
1995	0,12527	0,01613	0,01757	0,01279	0,00057	0,0004728	0,0018471
1996	0,13302	0,01539	0,01321	0,01209	0,00046	0,0008934	0,0014291
1997	0,13302	0,01539	0,01321	0,01209	0,00046	0,0008934	0,0014291
1998	0,15300	0,03480	0,00439	0,01191	0,00357	0,0157957	0,0045155
1999	0,17091	0,02884	0,01389	0,01173	0,00414	0,0139392	0,0035240
2000	0,15138	0,01415	0,02136	0,01100	0,00438	0,0573517	0,0074050
2001	0,12385	0,04016	0,00981	0,01074	0,00435	0,1970880	0,0354956
2002	0,11433	0,03590	0,01292	0,01074	0,00442	0,1987790	0,0381643
2003	0,16967	0,05263	0,03116	0,01027	0,00426	0,2603618	0,0353668
2004	0,15120	0,07150	0,03113	0,01114	0,01270	0,4238980	0,0954527
2005	0,15257	0,07285	0,03422	0,01082	0,01331	0,4342933	0,0977334
2006	0,16150	0,09210	0,05140	0,01069	0,01392	0,4700441	0,0983956

Fuente: INIA, 2010

### 5.2.1.2 Cálculo de emisiones anuales del sector

Para la elección del método a utilizar (nivel 1, 2 o 3), se aplicó el “Árbol de decisión para las emisiones de CH<sub>4</sub>, provenientes de aguas residuales domésticas” presentado en la figura 6.2, página 6.10 del documento del IPCC, 2006.

Teniendo en consideración que la información disponible es escasa, que no existen metodologías propias del país y que no corresponde a una categoría principal en las emisiones de CH<sub>4</sub> del sector Residuos Antrópicos, la metodología IPCC utilizada corresponde al Nivel 1.

Esta metodología considera dos tipos de emisiones:

- Emisión de CH<sub>4</sub> por tratamiento de aguas servidas domésticas.
- Emisión de CH<sub>4</sub> por tratamiento de lodos domésticos generados por las plantas de tratamiento de aguas servidas.

#### 5.2.1.2.1 Emisión de CH<sub>4</sub> por tratamiento de aguas servidas domésticas y de lodos domésticos generados por estos tratamientos:

Una vez obtenida la proyección de la fracción de aguas tratadas por las PTAS, fue posible realizar los cálculos correspondientes a los años 2007-2050.

En primer lugar, se calculó la cobertura regional (según el número de personas) de cada tipo de sistema de tratamiento en base a los valores proyectados en el punto anterior. Esto se realizó con la siguiente ecuación:

**Ecuación 15. Población urbana regional tratada por cada sistema de tratamiento de aguas**

$$Pob\ PTAS_{x,j,T} = P_U Reg_{x,T} \times Cob_{j,T}$$

Donde,

$Pob\ PTAS_{x,j,T}$ : Cobertura de cada sistema de tratamiento  $j$  para cada región  $x$ , medido en número de habitantes para cada año de cálculo.

$P_U Reg_{x,T}$  : Población urbana de cada región  $x$ , en número de habitantes para cada año de cálculo.

$Cob_{j,T}$  : Fracción de cobertura de cada sistema de tratamiento  $j$  para cada año. Este valor corresponde al resultado de las proyecciones.

Una vez obtenida la cobertura para cada sistema de tratamiento y por cada región del país, se procedió a calcular el promedio nacional de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) por persona en base a la siguiente ecuación:

**Ecuación 16. Demanda Bioquímica de Oxígeno per cápita nacional**

$$DBO_{per\ cápita,T} = \frac{\sum [Pob\ PTAS_{x,j,T} \times DBO_x]}{Pob\ PTAS_{Nac,T}}$$

Donde,

$DBO_{per\ cápita,T}$  : Demanda Bioquímica de Oxígeno per cápita promedio nacional para cada año (kg DBO/per cápita/año)

$DBO_x$  : Demanda Bioquímica de Oxígeno per cápita para cada región  $x$ . A nivel nacional se consideran dos valores, uno para la región Metropolitana, y otro para el resto de las regiones. Ver Cuadro 12 (kg DBO/per cápita/año)

$Pob\ PTAS_{Nac,T}$  : Población urbana nacional cubierta por las PTAS para cada año de cálculo

Esta  $DBO_{per\ cápita}$  representa una variable clave para el cálculo de emisiones, puesto que corresponde a la cantidad de materia orgánica disponible a ser degradada, por lo tanto, corresponde a la masa que puede generar las emisiones.

Otra variable necesaria para obtener las emisiones provenientes de este subsector, es la fracción de DBO que se convierte en lodo producto del tratamiento de las aguas residuales. Esta variable corresponde a los valores obtenidos de la proyección descrita en el capítulo anterior.

Posterior a estos cálculos, fue necesario obtener un factor de emisión para el conjunto de sistemas de tratamiento de aguas residuales y otro para el tratamiento de lodos domésticos, cada uno en base a sus valores de fracción de cobertura de cada tipo de tratamiento y factor de corrección de metano para cada tipo de tratamiento. Además, se incorpora la variable “capacidad máxima de producción de metano” que corresponde a  $B_0$ . A continuación se presenta la ecuación para el factor de emisión. Cabe recordar que esta fórmula se aplicó para aguas tratadas y lodos provenientes de estos tratamientos, en

forma separada, por lo que se obtendrá un factor de emisión de aguas residuales ( $FE_{AR}$ ) y un factor de emisión para lodos ( $FE_L$ ) para cada año de cálculo.

**Ecuación 17. Factor de emisión del tratamiento de aguas servidas para lodos y aguas según corresponda**

$$FE_T = \sum [Cob_{j,T} \times MCF_j] \times B_0$$

Donde,

$FE_T$  : Factor de emisión (kg de CH<sub>4</sub>/kg de DBO) para cada año

$Cob_{j,T}$  : Fracción de cobertura de cada sistema de tratamiento  $j$  para cada año. Este valor corresponde al resultado de las proyecciones.

$MCF_j$  : Factor de corrección del metano. Valores por defecto según tipo de tratamiento. Ver Cuadros 11 y 13

$B_0$  : Capacidad máxima de producción de CH<sub>4</sub> (kg de CH<sub>4</sub>/kg de DBO). Ver Cuadro 14

Finalmente, las emisiones para el subsector de aguas servidas domésticas y lodo domestico se obtuvieron mediante las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 18. Emisiones de Residuos de Aguas Residuales totales**

$$CH_4AR_T = Pob \ PTAS_{Nac,T} \times DBO_{per\ capita,T} \times (1 - Lodo_{país}) \times FE_{AR,T}$$

**Ecuación 19. Emisiones de Lodos de Aguas Residuales totales**

$$CH_4L_T = Pob \ PTAS_{Nac,T} \times DBO_{per\ capita,T} \times Lodo_{país} \times FE_{L,T}$$

Dónde:

$CH_4AR_T$  : Emisiones asociadas a aguas servidas domésticas orgánicas totales en tratamiento al año T (Kg CH<sub>4</sub>/año)

$CH_4L_T$  : Emisiones asociadas a los lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas al año T (Kg CH<sub>4</sub>/año)

$Pob_{PTAS_{Nac,T}}$ : Población urbana nacional cubierta por las PTAS para el año T (en miles de personas)

$DBO_{per\ cápita,T}$ : Componente orgánico degradable (Kg DBO/1000 personas/año)

$FE_{AR}$  : Factor de emisión de los sistemas de Tratamiento de agua

$FE_L$  : Factor de emisión de los lodos generados de los sistemas de Tratamiento de agua

$Lodo_{país}$  : Fracción de DBO correspondiente al lodo generado por las plantas de tratamientos de Aguas Residuales Domésticas

**Cuadro 11. Fracción de Corrección del Metano (MCF) para aguas domésticas**

Tipo	Factor de Emisión
Emisario submarino	0,1
Lagunas aireadas	0,3
Lodos activados	0
Lagunas de estabilización	0,8
Biofiltro	0
Zanjas de oxidación	0

Fuente: IPCC, 2006.

**Cuadro 12. Supuesto para la estimación del caudal tratado por las PTAS (DBO)**

Región	DBO(kg/per/año)
Otras Regiones	12,8
Región Metropolitana	21,9

Fuente: INIA, 2010

**Cuadro 13. Fracción de Corrección del Metano (MCF) para lodos**

Tratamiento	Valor
Lagunas aireadas	0,3
Lodos activados	0
Lagunas de estabilización	0,8
Zanjas de oxidación	0

Fuente: IPCC, 2006

**Cuadro 14. Capacidad máxima de producción de metano (B<sub>0</sub>)**

Capacidad Máxima de producción de metano	Valor
Bo (kg CH <sub>4</sub> Kg-1 DBO)	0,6

Fuente: IPCC, 2006

### 5.2.1.3 Fuentes de información

A continuación, se detallan las fuentes de información utilizadas para los modelos de proyección y los cálculos de emisiones.

**Cuadro 15. Resumen de fuentes de información. Aguas Domésticas**

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
Población Histórica	Proyección	INE	2008	Programa de Proyecciones de Población	-
Tasa de crecimiento poblacional	Proyección	MAPS	2012	Parámetros transversales a ser utilizados en estudios de Línea Base adjudicados bajo el proyecto MAPS Chile – Agosto 2012	-
PIB Histórico	Proyección	Banco Central	2003	Producto Interno Bruto, a precios constantes, base 2003 (millones de pesos)	-

<b>Dato</b>	<b>Proyección o Cálculo</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Observación</b>
Tasa de crecimiento PIB	Proyección	MAPS	2012	Parámetros transversales a ser utilizados en estudios de Línea Base adjudicados bajo el proyecto MAPS Chile – Agosto 2012	-
Población Urbana Regional	Cálculo	INE	2008	Programa de Proyecciones de Población	-
Cobertura de tratamiento de aguas servidas (N° de personas)	Proyección	SISS	2000-2006	Informes de Gestión del Sector Sanitario 1995-2007	-
Cobertura de tratamiento de aguas servidas (N° de personas)	Proyección	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	-
DOC	Cálculo	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	-
Fracción de caudal tratado por tipo de residuos en las PTAS	Proyección	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	-
Fracción de lodos tratados por tipo de residuos	Proyección	SISS	2000-2006	Informes de Gestión del Sector Sanitario 1995-2007	-

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
Componente orgánico degradable de lodos domésticos	Cálculo	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	-
Factor de corrección del metano para PTAS	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Capacidad máxima de producción de metano	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Potencial de calentamiento global de CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O(GWP) (Conversión a emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente)	Cálculo	IPCC	1995	Second Assessment Report, Direct GWP, GWP 100 años	Valor por defecto
Supuesto para estimación de caudal tratado en PTAS (Kg DBO/hab/año)	Cálculo	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	Valor por defecto

Fuente: Elaboración Propia

### 5.2.2 Residuos líquidos industriales

Para el caso de Residuos Líquidos Industriales, la variable clave identificada corresponde a la cantidad de materia orgánica degradable (DBO) contenida en los RILes en tratamiento.

Por otro lado, para los residuos líquidos industriales, dado que no existe información histórica suficiente para hacer un análisis, no es posible establecer un modelo de proyección en base a la experiencia nacional. Esto es consistente con lo presentado en las series de tiempo de los inventarios nacionales del documento “Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura y residuos antrópicos”, del INIA (2010).

Para proyectar la variable anterior se utilizaron datos disponibles de 1992 y 1998<sup>12</sup>. Debido a la poca información disponible, no fue posible elaborar un modelo de proyección consistente que relacionara a la variable con otras, como el PIB por ejemplo, por lo que se realizó una tendencia lineal, obteniendo un incremento anual de DBO en RILes tratados.

Por tanto, la proyección de los valores de DBO está dada por la siguiente ecuación.

**Ecuación 20. Proyección de carga orgánica degradable en RILes**

$$DBO_T = \Delta DBO + DBO_{T-1}$$

Donde,

- $DBO_T$  : Cantidad de materia orgánica en RILes para el año T
- $\Delta DBO$  : Incremento anual de materia orgánica en RILes
- $DBO_{T-1}$  : Cantidad de materia orgánica en RILes para el año T-1

Los valores mencionados se presentan en los siguientes cuadros.

**Cuadro 16. Contenido Orgánico Degradable en RILes tratados el año 1992**

Región	Q (m3/año)	DBO (Gg/año)
I	623.280	0,02
II	821.904	0,05

<sup>12</sup> Al final del estudio, el Ministerio de Medio Ambiente hizo llegar información para el horizonte 2006-2012. Sin embargo, esta información no fue incorporada en las proyecciones que aquí se presentan.

Región	Q (m3/año)	DBO (Gg/año)
III	3.329.508	0,00
IV	71.400	0,61
V	16.160.427	1,40
XIII	31.099.742	16,66
VI	5.648.976	2,82
VII	1.209.564	0,11
VIII	275.226.774	37,40
IX	15.748.500	0,07
X	8.281.860	6,88
XI	566.820	0,00
XII	288.000	0,17
<b>Total país</b>	<b>359.076.756</b>	<b>66,20</b>

Fuente: Catastro Nacional de RILes, 1992, SISS

**Cuadro 17. Contenido Orgánico Degradable en RILes tratados el año 1998**

Región	Q (m3/año)	DBO (Gg/año)
I	3.001.049	0,20
II	1.981.680	0,97
III	3.404.052	0,09
IV	2.714.819	0,05
V	10.048.478	4,53
XIII	49.269.975	47,19
VI	10.803.078	1,45
VII	5.110.944	25,94
VIII	25.117.613	65,13
IX	4.702.607	0,41
X	4.201.069	11,37
XI	286.290	0,01
XII	834.498	0,16
<b>Total país</b>	<b>121.476.152</b>	<b>157,50</b>

Fuente: Actualización de catastro de RILES 1998.

### 5.2.2.1 Cálculo de emisiones anuales del sector

Para definir el método a utilizar, se aplicó el “Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> procedentes de las aguas residuales industriales” (Figura 6.3, página 6.21 del IPCC 2006). Al no corresponder a una categoría principal y al no existir información específica del país, se considera el uso del método Nivel 1.

Según esta metodología, las emisiones totales de CH<sub>4</sub> están definidas mediante la siguiente ecuación:

**Ecuación 21. Emisiones de CH<sub>4</sub> por los Residuos Industriales Líquidos**

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left( \sum_i MCF_{Sit.\ Trat.\ i} \times F_{caudal\ Trat.\ i} \right) \times DBO \times B_0$$

Donde:

- Emisiones de CH<sub>4</sub>* : Emisiones de CH<sub>4</sub> en (Gg CH<sub>4</sub>/año)
- MCF<sub>Sit. Trat.</sub>* : Factor Corrección del Metano para Sistemas de Tratamiento i
- F<sub>caudal Trat.</sub>* : Fracción de caudal tratado
- DBO* : Cantidad de DBO en Gg/año
- B<sub>0</sub>* : Capacidad máxima de producción de metano (Kg CH<sub>4</sub>/Kg DBO)

Para el cálculo de las emisiones se utilizaron los valores de DBO (Gg/año) proyectados en base al incremento anual explicado anteriormente, las demás variables de la ecuación anterior se mantienen constantes.

Los valores constantes utilizados se presentan a continuación.

**Cuadro 18. Capacidad Máxima de producción de metano para aguas industriales**

Variable	Valor
Bo (kg CH <sub>4</sub> / Kg DBO)	0,6

Fuente: IPCC, 2006

**Cuadro 19. Factores de emisión por tipo de PTAS**

Tratamiento	MCF	Fracción caudal tratado
Digestión Aeróbica (DIGAER)	0	0,3%
Físico-químico con flotación (FQF)	0	16,4%
Físico-químico con sedimentación (FQS)	0,2	45,1%
Filtración (FS)	0	0,9%
Filtración (II)	0	0,0%
Lodos activados (LA)	0	1,8%
Laguna de estabilización anaeróbica (LAEn)	0,8	0,6%
Laguna aireada/sedimentación (LAG AIR/SED)	0	0,6%
Lodos activados (LALF)	0	1,2%
Laguna de aireación (LAI)	0	1,0%
Neutralización (N)	0	1,1%
Precipitación (PP)	0	1,2%
Separación de sólidos (SS)	0	0,4%
Cámara desgrasadora (CD)	0	0,0%
Filtración granular (FG)	0	0,0%
Estanque de homogeneización (H)	0,2	0,5%

Fuente: IPCC, 2006

### 5.2.2.2 Fuentes de información

**Cuadro 20: Resumen de Fuentes de Información. Residuos Industriales Líquidos**

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
Carga orgánica en los Riles	Proyección	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	Catastro Nacional de RILes, 1992, SISS

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
Carga orgánica en los Riles	Proyección	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	Catastro Nacional de RILES, 1998, SISS
Capacidad Máxima de producción de metano por defecto para las aguas industriales (Bo)	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Factores de emisión por tipo de PTAS	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Fracción del caudal por tipo de tratamiento	Cálculo	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	Catastro Nacional de RILES, 1998, SISS
Potencial de calentamiento global de CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O(GWP) (Conversión a emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente)	Cálculo	IPCC	1995	Second Assessment Report, Direct GWP, GWP 100 años	Valor por defecto

Fuente: Elaboración propia

## 5.3 INCINERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS

### 5.3.1 Modelo de proyección

El componente orgánico que podría generar las emisiones en esta subcategoría corresponde a la masa total incinerada. Esta masa está compuesta de residuos hospitalarios y cuerpos a incinerar por empresas o cementerios.

Considerando la cantidad de datos históricos disponibles y que no constituye una categoría principal, es que el modelo para la proyección de estos datos se realizó en base a la tendencia histórica según los datos que se presentan en el siguiente cuadro:

**Cuadro 21. Datos utilizados para obtención de modelo de proyección. Masa total de desechos incinerados**

Año	Masa total de desechos incinerados (ton/año)
1998	29.417,37
1999	29.420,29
2000	29.409,31
2001	29.414,77
2002	29.416,79
2003	29.420,24
2004	29.423,88
2005	29.426,91
2006	29.430,28

Fuente: Elaboración propia

Según esta información, el modelo a utilizar corresponde al siguiente:

**Ecuación 22. Modelo de proyección de la masa total a incinerar**

$$M_T = (1,7689 \times T) + 25879$$

Donde,

$M_T$  : Masa total a ser incinerada el año T  
 $T$  : Año de la proyección

### 5.3.2 Cálculo de emisiones anuales del sector

Para el tratamiento de la información y metodología que está siendo utilizada respecto de los gases CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O provenientes de la incineración de residuos hospitalarios, se aplicó el “Árbol de decisión para las emisiones de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O procedentes de la incineración e incineración abierta de desechos”. Según este árbol de decisión, la metodología utilizada corresponde al Nivel 1, ya que la información requerida es muy escasa y no se trata de una categoría principal. El cálculo corresponde a dos fuentes, una de ellas son las emisiones debidas a la incineración de restos humanos y las otra es relacionada con la incineración de residuos hospitalarios.

Según el IPCC 2006, es una buena práctica aplicar un factor de emisión nulo, debido a las bajas concentraciones de este gas y las altas incertidumbres asociadas.

La ecuación es la siguiente:

#### Ecuación 23. Estimación de las emisiones de CO<sub>2</sub> basada en la cantidad de desechos incinerados

$$Emisiones\ CO_2 = \sum_i (SW_i \times dm_i \times CF_i \times FCF_i \times OF_i) \times 44/12$$

Donde, en ambos casos:

$(Emisión\ de\ CO_2)_T$  : Emisiones de CO<sub>2</sub> durante el año del inventario T en Gg/ año  
 $SW_i$  : Cantidad total de desechos sólidos de tipo  $i$  incinerados en el año T (Gg/año)  
 $dm_i$  : Fracción de materia seca en los desechos incinerados  
 $CF_i$  : Fracción de carbono en la materia seca  
 $FCF_i$  : Fracción de carbono fósil en el carbono total  
 $OF_i$  : Factor de oxidación (fracción)

44/12 : Factor de conversión de C en CO<sub>2</sub>

*i* : Tipo de desecho incinerado (Desechos hospitalarios)

La variable  $SW_i$  corresponde a la masa total incinerada que fue proyectada en la etapa anterior.

Las otras variables de la ecuación corresponden a valores por defecto del IPCC 2006 y se presentan a continuación:

**Cuadro 22. Valores por defecto**

Variable	Valor
Fracción de materia seca en residuos incinerados	0,6
Fracción de Carbono en residuos incinerados	0,6
Fracción de Carbono fósil	0,4
Factor de Oxidación	100%

Fuente: IPCC, 2006; INIA, 2010

De esta manera se obtuvieron los valores de las emisiones de CO<sub>2</sub> para el periodo entre los años 2007 y 2050.

### 5.3.3 Fuentes de información

A continuación, se presenta el detalle de las fuentes de información de donde se obtuvieron los datos para realizar el modelo de proyección y los cálculos posteriores.

**Cuadro 23. Resumen de fuentes de información. Incineración de Residuos Hospitalarios**

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
PIB Histórico	Proyección	Banco Central	2003	Producto Interno Bruto, a precios constantes, base 2003 (millones de pesos)	

<b>Dato</b>	<b>Proyección o Cálculo</b>	<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>	<b>Observación</b>
Tasa de crecimiento PIB	Proyección	MAPS	2012	Parámetros transversales a ser utilizados en estudios de Línea Base adjudicados bajo el proyecto MAPS Chile – Agosto 2012	
Masa de residuos incinerada	Proyección	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	Cementerio General, Cementerio Parque del Recuerdo, ECOWORLD Ltda. y CONAMA
Fracción de materia seca en residuos incinerados	Cálculo	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	ECOWORLD, valor valido para residuos hospitalarios y cementerios
Fracción de C en residuos incinerados	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Fracción de C fósil	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
Fracción de N/C en residuos incinerados	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Factor de Oxidación	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
FE de CH <sub>4</sub>	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
FE de N como N <sub>2</sub> O	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Valor por defecto
Potencial de calentamiento global de CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O(GWP) (Conversión a emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente)	Cálculo	IPCC	1995	Second Assessment Report, Direct GWP, GWP 100 años	Valor por defecto

Fuente: Elaboración propia

## 5.4 EXCRETAS HUMANAS

### 5.4.1 Modelo de proyección

Para la proyección del consumo de proteínas, variable clave para el cálculo de las emisiones provenientes de este subsector, se utilizó información proporcionada por el Ministerio de Medio Ambiente. Esta información, tal como se presenta en el siguiente cuadro, muestra el consumo diario de proteínas en gramos por persona desde el año 1961 al año 2006.

**Cuadro 24. Datos utilizados para obtención de modelo de proyección. Cantidad de proteínas consumidas por persona**

<b>Año</b>	<b>Consumo (gr/hab/día)</b>
1961	65,9
1962	66,2
1963	68,6
1964	67,3
1965	68,3
1966	71,6
1967	69,7
1968	70,3
1969	68,5
1970	69,6
1971	69,2
1972	71,1
1973	68,2
1974	74,3
1975	66,8
1976	67,5
1977	66,7
1978	66,9
1979	70
1980	70,9

<b>Año</b>	<b>Consumo (gr/hab/día)</b>
1981	73,7
1982	70,6
1983	68,2
1984	68,2
1985	65,7
1986	65,3
1987	66,2
1988	66,6
1989	67,9
1990	70,1
1991	70,1
1992	76,9
1993	78,1
1994	78,2
1995	77,8
1996	79
1997	78
1998	77,9
1999	76,7
2000	78,6
2001	79,7
2002	82,4
2003	84,7
2004	85,7
2005	87
2006	89

Fuente: Elaboración propia

La proyección del consumo de proteínas se realizó en base a un modelo tendencial.

Obtenida la proyección de las proteínas consumidas por persona, se procedió con el cálculo de emisiones provenientes de las excretas humanas. Cabe señalar que el modelo

de proyección del consumo de proteínas se aplicó para el periodo 2007-2030. A partir del año 2030 los valores fueron fijados, ya que, según información a nivel internacional, se alcanzan valores de consumo de proteínas similares a los de países de altos ingresos, como Estados Unidos, Francia y Noruega (FAO, 2012).

El modelo tendencial utilizado corresponde al siguiente:

**Ecuación 24. Proyección de consumo per cápita de proteínas**

$$Prot_T = (0,3666 \times T) - 653,67$$

Donde,

$Prot_T$  : Consumo per cápita de proteínas (gr/hab/día) para cada año de estudio

$T$  : Año de estudio

#### 5.4.2 Cálculo de emisiones anuales del sector

Las emisiones de  $N_2O$  provenientes de las excretas humanas en el sector de Residuos Antrópicos se calcularán utilizando la metodología Nivel 1 del IPCC 2006 para este sector.

El cálculo de emisiones será definida por la siguiente ecuación:

**Ecuación 25.  $N_2O$  proveniente de excretas humanas**

$$Emisiones N_2O = (((P_U \times PR \times F_{NPR} \times F_{NON-CON} \times F_{IND-COM}) - N_{todo}) \times FE_e \times \frac{44}{28}) / 1000000$$

Donde:

$Emisiones N_2O$ :  $N_2O$  proveniente de excretas humanas el año T (en Gg año<sup>-1</sup>)

$PR$  : Proteínas consumidas al año (Kg proteína cb<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

$P_{urb}$  : Población urbana al año T (n° personas al año T)

$F_{NPR}$  : Fracción de nitrógeno en la proteína (Kg N kg<sup>-1</sup> 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 co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado
- $N_{lodo}$  : Nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0). Kg de N/año
- $FE_e$  : Factor de Emisión de  $N_2O$  en el excremento ( $kg\ N-N_2O\ kg^{-1}\ N$ )
- $\frac{44}{28}$  : Factor de conversión de N en  $N_2O-N$  en Kg. De  $N_2O$

Para la proyección de este sector, se utiliza la variable de consumo de proteínas (PR), que corresponde a la variable proyectada previamente, y los valores de población urbana correspondiente a cada año. El resto de las variables son valores constantes y se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 25. Valores por defecto. Excretas humanas**

Factores	Valor
$F_{NPR}$ (Kg de N / Kg de proteínas)	0,16
$F_{NON-CON}$	1,1
$F_{INP-COM}$	1,25
$N_{Lodo}$ (Kg de N al año)	0

Fuente: IPCC, 2006

### 5.4.3 Fuentes de información

**Cuadro 26. Resumen de Fuentes de Información. Excretas Humanas**

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
Población Histórica	Proyección	INE	2008	Programa de Proyecciones de Población	-
Tasa de crecimiento poblacional	Proyección	MAPS	2012	Parámetros transversales a ser utilizados en estudios de Línea Base adjudicados bajo el proyecto MAPS Chile – Agosto 2012	-
PIB Histórico	Proyección	Banco Central	2003	Producto Interno Bruto, a precios constantes, base 2003	-

Dato	Proyección o Cálculo	Autor	Año	Título	Observación
				(millones de pesos)	
Tasa de crecimiento PIB	Proyección	MAPS	2012	Parámetros transversales a ser utilizados en estudios de Línea Base adjudicados bajo el proyecto MAPS Chile – Agosto 2012	-
Proteínas consumidas al año	Proyección	FAO	2003	Statistical yearbook	-
Fracción de nitrógeno en la proteína	Cálculo	INIA	2010	Complementos y actualización del inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los sectores de agricultura, uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura, y residuos antrópicos	IPCC 2006
Factor de Emisión de N <sub>2</sub> O en el excremento	Cálculo	IPCC	2006	Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5: Desechos	Cuadro 6.11
Potencial de calentamiento global de CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O(GWP) (Conversión a emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente)	Cálculo	IPCC	1995	Second Assessment Report, Direct GWP, GWP 100 años	Valor por defecto

Fuente: Elaboración Propia

## 6 ANÁLISIS CRÍTICO DE LA INFORMACIÓN

A modo de análisis crítico de la información requerida para las proyecciones de RSU, se elaboraron cuadros con la información, fuente, año de referencias, etc., de la cual fue posible desprender un nuevo cuadro resumiendo aquellos datos calificados como de mala calidad de información. En el Anexo 3 se presentan los análisis completos para todos los subsectores.

Esto permitió analizar y vislumbrar el escenario real sobre la calidad de la información en general para el sector de Residuos Antrópicos, la cual es posible calificar como mala. Esto principalmente por la falta de estudios representativos de la realidad nacional. Los subsectores que cuentan con información base para los cálculos más confiables son residuos sólidos y residuos líquidos domiciliarios que presentan datos históricos de más de 10 años correspondientes a la disposición de residuos en SEDS y a la cobertura de tratamiento de las PTAS, respectivamente. Sin embargo, existe una gran falencia en cuanto a los datos históricos requeridos.

En el caso de los residuos sólidos, de 14 variables utilizadas en modelos y cálculos, 2 de ellas se califican como buenas, 10 como regulares y 2 como malas. Las calificadas como buenas, Cantidad de RSU dispuestos en SEDS y Fracción de RSU dispuesto por tipo de SEDS, provienen de información del INIA (2010) de sus planillas de cálculo del estudio “Complementos y Actualización del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los Sectores de Agricultura, Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, y Residuos Antrópicos” y cuentan con datos desde 1984. En cuanto a las variables regulares, corresponden principalmente a los valores por defecto utilizados en los cálculos anuales de emisiones. Estos factores corresponden a la Recuperación de metano ( $R$ ), Fracción del Carbono Orgánico Degradable en cada tipo de desecho ( $DOC$ ), Factor de Oxidación ( $OX$ ), Factor de Corrección del Metano ( $MCF$ ), Fracción del DOC disuelto que se descompone ( $DOC_f$ ) y Fracción volumétrica del metano en el gas de vertedero ( $F$ ). Por su parte, las variables calificadas como de mala calidad, son la Composición de RSU dispuesto en SEDS y la Fracción de papeles y cartones enviados a reciclaje. En el primer caso, se debe a que, si bien existen mediciones de composición en el país, éstas son principalmente en la Región Metropolitana, y además, difieren entre sí en cuanto a la metodología y origen de las muestras, lo que impide que estos resultados sean comparables año a año. La segunda, se debe a que no existe información pública disponible sobre la tasa histórica de reciclaje de papel y cartón, por lo que se consideró información de la principal empresa de reciclaje del país, SOREPA (filial de la empresa CMPC).

En cuanto a las aguas residuales y emisiones por excretas humanas, se puede deducir que la información disponible de la SISS no es suficiente, ya que algunos de los datos que no fueron encontrados, se obtuvieron de los complementos y actualizaciones del inventario nacional de emisiones GEI (INIA, 2010) quienes recurrieron al juicio de experto para definir factores, ya que no existen datos históricos.

Sin duda, el subsector de incineración de residuos hospitalarios es la categoría con menos información disponible en forma pública. Toda la información se obtuvo de las planillas del INIA (2010), quienes obtuvieron información del cementerio general y de empresas privadas, a la cual no se tuvo acceso.

Por otro lado, en relación al tratamiento metodológico para residuos sólidos urbanos, éste se realizó a nivel de regiones. Aunque en muchos casos la información corresponde a datos únicamente para la Región Metropolitana, que no son extrapolables dadas las realidades tan distintas entre ésta y el resto de las regiones. Esto ocurrió con la composición de los residuos sólidos y con el reciclaje de papel y cartón. Para los otros subsectores, dada la calidad de la información disponible y la relevancia que tienen en términos de emisiones de GEI, se realizó un tratamiento a nivel nacional.

En el siguiente Cuadro se presentan aquellas variables consideradas como clave y que presentan mala calidad de información.

**Cuadro 27. Análisis Crítico de la Información.**

Información	Fuente de información	Año	Calidad	Observación
Composición de RSU dispuesto (RSU)	Olley	Sin Año	Mala	No existe información a nivel nacional. La información existente corresponde a la Región Metropolitana y no se cuenta con series históricas confiables, ya que las mediciones para distintos años corresponden a metodologías de medición diferentes entre sí.
Fracción de alimentos enviados a compostaje (RSU)	CONAMA	2010	Regular	No existen datos regionales, por lo que se considera igual para todas las regiones. Valores disponibles sólo desde el año 2000.

Información	Fuente de información	Año	Calidad	Observación
Fracción de papeles y cartones enviados a reciclaje (RSU)	CMPC	2003	Mala	No existe información disponible a nivel regional. Sólo se cuenta con un valor para la Región Metropolitana. Para el resto de las regiones no se considera reciclaje de papel y cartón.
Carga orgánica en RILes (Residuos Líquidos)	INIA	2010	Mala	Fuente citada considera información de: Catastro Nacional de RILes de la SISS sólo para dos años: 1992 y 1998. No existe información nacional posterior.
Fracción del caudal tratado por tipo de tratamiento (Residuos Líquidos)	INIA	2010	Mala	Fuente citada considera información de: Catastro Nacional de RILes de la SISS de 1998. No existe información nacional posterior.
Masa de residuos incinerada	INIA	2010	Mala	Existe escasa información en relación a la masa total de residuos incinerados en empresas privadas.
Proteínas consumidas al año	FAO	2003	Mala	Existen pocos datos históricos nacionales.

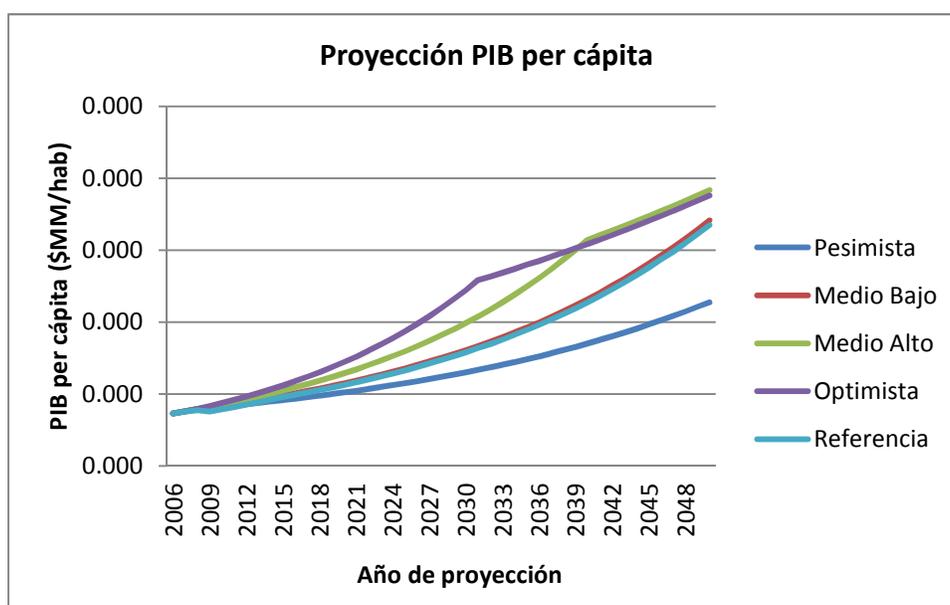
Fuente: Elaboración propia.

## 7 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de la proyección de emisiones de GEI para el escenario de Línea Base o Crecimiento Sin Restricciones, en el horizonte 2007-2050, para los cuatro subsectores en estudio, en base a 5 escenarios distintos relacionados con el PIB: pesimista, medio bajo, medio alto, optimista y de referencia. Los resultados se presentan en términos de Millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente.

Además, en el Anexo 4, se muestran otros gráficos de interés, relacionados con la proyección de las variables clave de cada categoría.

En el siguiente gráfico se presentan los resultados de la proyección del PIB per cápita, principal *driver* en la proyección de las variables clave.



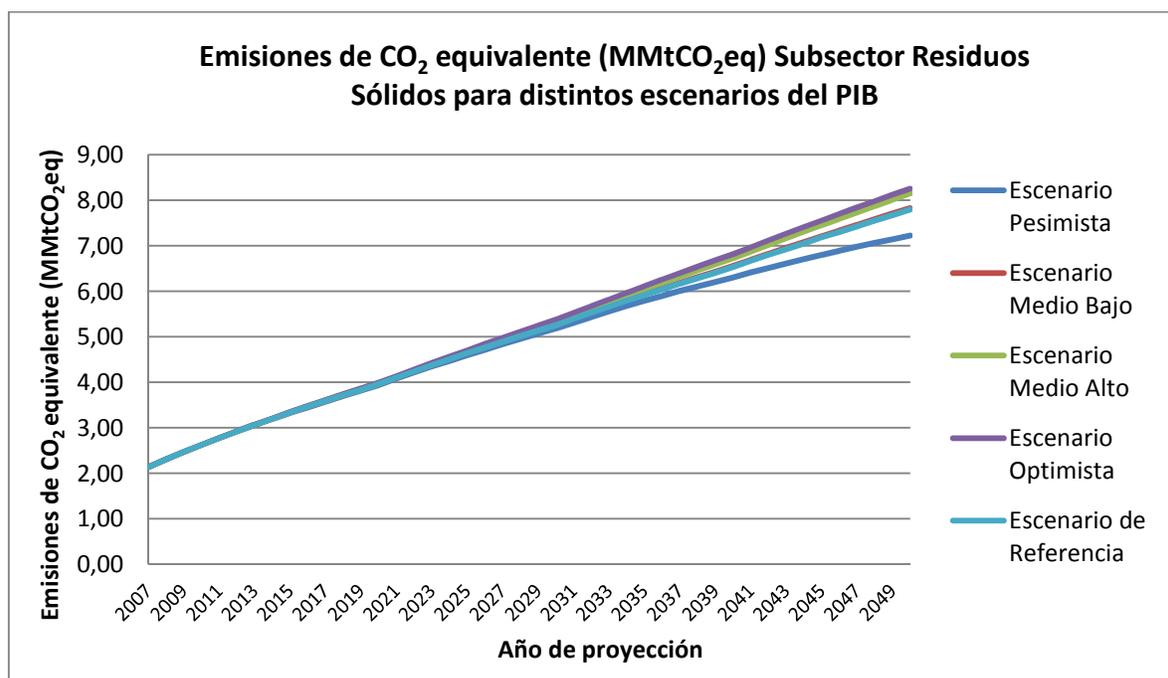
**Gráfico 2. Proyección PIB per cápita.**

Fuente: Contraparte técnica del proyecto

El gráfico muestra una tendencia creciente para los cinco escenarios de PIB, sin embargo, para los escenarios optimista y medio alto, se observa un cambio de tendencia debido a la disminución de la tasa de crecimiento, de acuerdo al criterio de convergencia definido por el equipo MAPS.

## 7.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

A continuación se presenta la proyección de emisiones de CH<sub>4</sub> provenientes de la descomposición de la materia orgánica en los sitios de disposición final.



**Gráfico 3. Emisiones de CO<sub>2</sub>: Residuos Sólidos Urbanos.**

En el siguiente cuadro se presentan los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente para el subsector de residuos sólidos urbanos para los años 2007, 2020, 2030 y 2050.

**Cuadro 28. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de Residuos Sólidos Urbanos**

Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente (MMtCO <sub>2</sub> eq)				
Descripción de Series	2007	2020	2030	2050
Escenario Pesimista	2,13	3,94	5,18	7,22
Escenario Medio Bajo	2,13	3,96	5,27	7,83

<b>Emisiones de CO2 equivalente (MMtCO2eq)</b>				
<b>Escenario Medio Alto</b>	2,13	3,98	5,33	8,15
<b>Escenario Optimista</b>	2,13	3,99	5,37	8,26
<b>Escenario de Referencia</b>	2,13	3,95	5,25	7,80

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en el gráfico y cuadro anterior, las emisiones por los residuos sólidos urbanos son crecientes, debido a que dependen por una parte del crecimiento de la población, y por otra al crecimiento de la generación per cápita de residuos. No obstante, hasta el año 2025 aproximadamente, no se observa una diferencia entre los distintos escenarios. Esto se debe a que el modelo resultante para la proyección de PPC de residuos no alimenticios es poco sensible a las variaciones del PIB, esto ya que el coeficiente asociado a la variable del modelo  $\ln(\text{PIB}) - \ln(\text{población})$  es menor a 0,1. Además, las emisiones asociadas a los desechos de alimentos no dependen del PIB, por lo que a nivel agregado del sector de Residuos Sólidos Urbanos disminuye el efecto del PIB.

Las emisiones resultan mayores en el escenario Optimista, y menores en el escenario Pesimista, ya que en términos generales, a mayor PIB per cápita, mayor es la generación per cápita de residuos de textil, papel y cartón. En el caso de los residuos de alimentos, de acuerdo a lo descrito en la sección de metodología, la generación per cápita de residuos de alimentos se mantiene constante, por lo que la generación total de residuos de alimentos sólo depende de la población.

A continuación se presenta un cuadro con el resumen de las variaciones de las emisiones entre los periodos 2006-2020; 2006-2030 y 2006-2050. Con respecto a esto, cabe señalar que las emisiones presentadas para el año 2006, en este y en todos los subsectores, fueron calculadas mediante las metodologías presentadas para el periodo 2007-2050 con datos reales al 2006. De esta manera se obtienen valores comparables entre sí. Es importante mencionar que los valores de emisiones del inventario de GEI del INIA (2010), utiliza la metodología del IPCC 1996, que difiere de la metodología IPCC 2006 utilizada en este estudio.

**Cuadro 29. Porcentaje de variación en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Residuos Sólidos Urbanos**

<b>% Variación entre Periodos</b>		
<b>Escenario</b>	<b>Periodo</b>	<b>%Variación</b>
Escenario Pesimista	2006-2020	101%
	2006-2030	165%
	2006-2050	269%
Escenario Medio Bajo	2006-2020	103%
	2006-2030	169%
	2006-2050	300%
Escenario Medio Alto	2006-2020	103%
	2006-2030	173%
	2006-2050	317%
Escenario Optimista	2006-2020	104%
	2006-2030	175%
	2006-2050	322%
Escenario de Referencia	2006-2020	102%
	2006-2030	169%
	2006-2050	299%

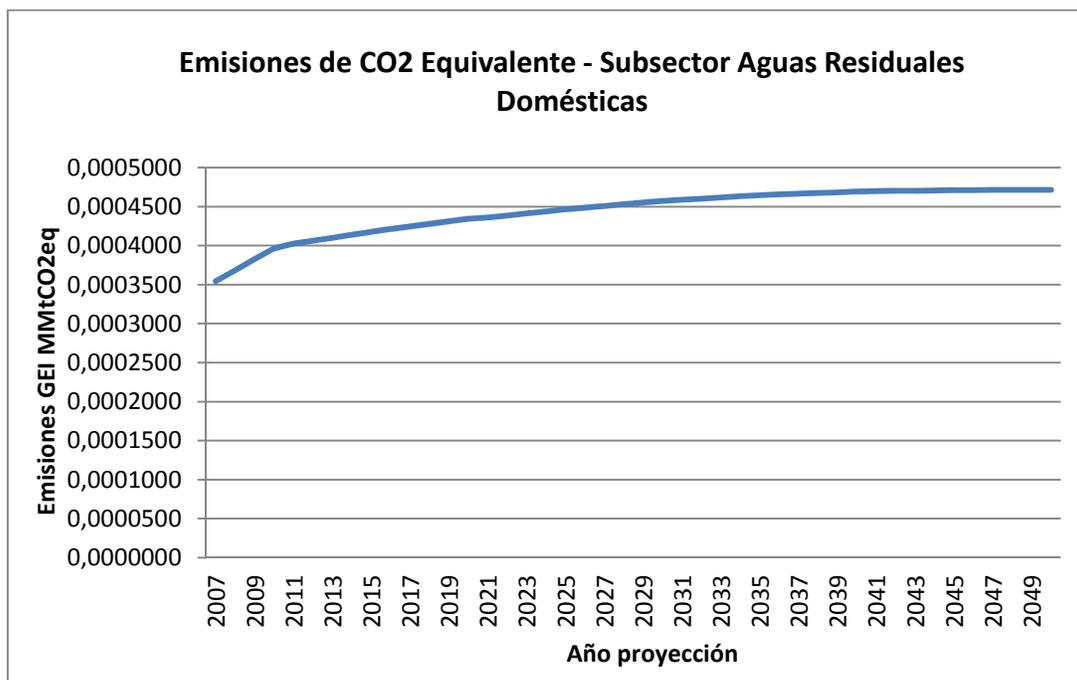
Fuente: Elaboración propia

Desde el año 2006 al 2050 éstas aumentarían un 269% en el escenario pesimista, y un 322% en el escenario optimista.

## 7.2 RESIDUOS LÍQUIDOS

### 7.2.1 Residuos Líquidos Domiciliarios

En el caso de los residuos líquidos domiciliarios, a diferencia de lo presentado en Residuos Sólidos Urbanos, se presenta como resultado un único escenario, puesto que las proyecciones se realizaron en base a modelos tendenciales. Estos resultados se presentan en el Gráfico 4.



**Gráfico 4. Emisiones de CO<sub>2</sub>: Residuos Líquidos Domiciliarios**

En el siguiente cuadro se presentan las emisiones para los años 2007, 2020, 2030 y 2050.

**Cuadro 30. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de Residuos Líquidos Domiciliarios**

Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente (MMtCO <sub>2</sub> eq)				
Descripción de Series	2007	2020	2030	2050
Escenario Único	0,0003545	0,0004344	0,0004572	0,0004715

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico y cuadro anterior se observa una tendencia creciente mayor entre los años 2007 y 2010, mientras que las emisiones se estabilizan hacia el año 2050. El marcado incremento en los primeros años de proyección se debe principalmente a un aumento en el porcentaje de cobertura de tratamiento a nivel nacional, en tanto que en el período

posterior se alcanza una cobertura completa, por lo que las emisiones dependen principalmente del total de la población servida.

En el siguiente cuadro, se presentan las variaciones de las emisiones a lo largo del periodo 2007-2050, con respecto al año 2006.

**Cuadro 31. Porcentaje de variación en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Residuos Líquidos Domiciliarios**

% Variación entre Periodos		
Escenario Único	Periodo	%Variación
Escenario Único	2006-2020	66%
	2006-2030	75%
	2006-2050	80%

Fuente: Elaboración propia

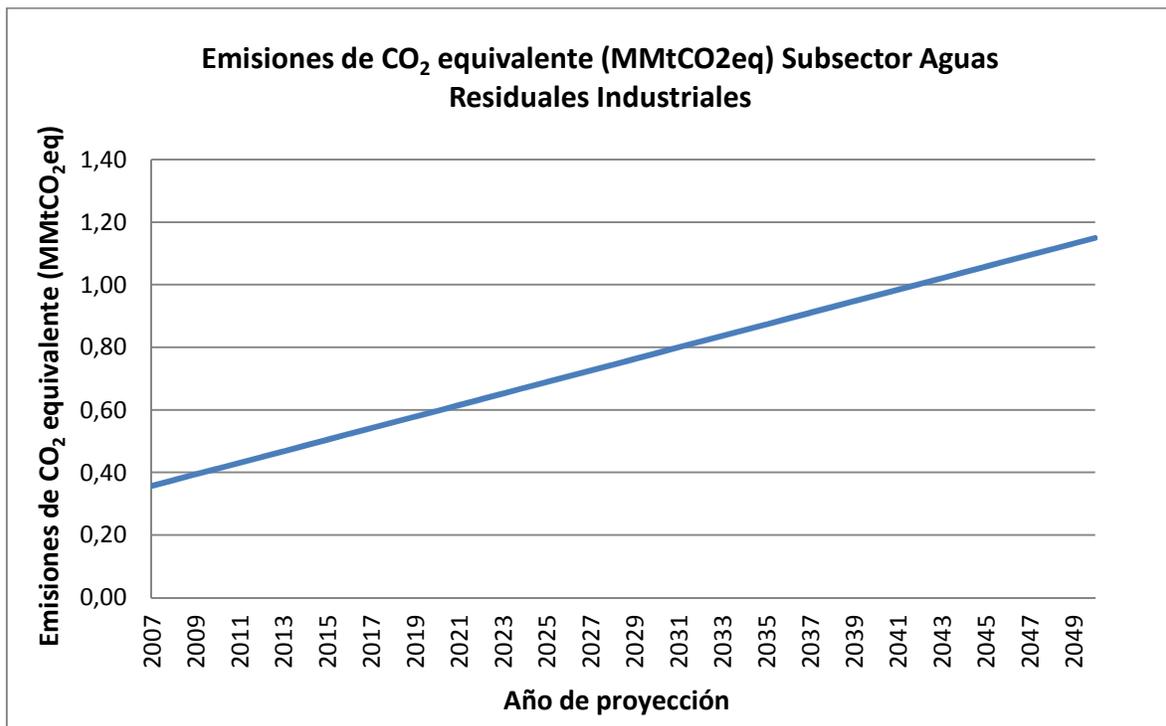
Como se observa en el cuadro anterior y en el Gráfico 4, la tendencia de crecimiento es positiva, llegando a un crecimiento del 80% para el año 2050 respecto del año 2006.

### 7.2.2 Residuos Líquidos Industriales

Como se mencionó en la metodología, para el caso de residuos líquidos industriales se cuenta con muy poca información, por lo que se proyectó mediante una tendencia lineal en base al incremento anual de la carga orgánica contenida en los RILes.

En el Gráfico 5 se muestra la proyección de las emisiones provenientes de este subsector. Como se observa, es una tendencia creciente en forma lineal.

Debido a que esta variable no depende del PIB, sólo se presenta un escenario de emisión.



**Gráfico 5. Emisiones: Residuos Líquidos Industriales**

Tal como se presenta en el Cuadro 32 y 33, la variación de las emisiones entre el año 2006 y el 2050, es por sobre el 200%, alcanzando al 2050 las 1,15 MMtCO<sub>2</sub>eq, posicionándose como el segundo subsector con mayores aportes de emisiones GEI del sector Residuos Urbanos.

**Cuadro 32. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de Residuos Líquidos Industriales**

Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente (MMtCO <sub>2</sub> eq)				
Descripción de Series	2007	2020	2030	2050
Escenario Único	0,36	0,60	0,78	1,15

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 33. Porcentaje de variación en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Residuos Líquidos Industriales**

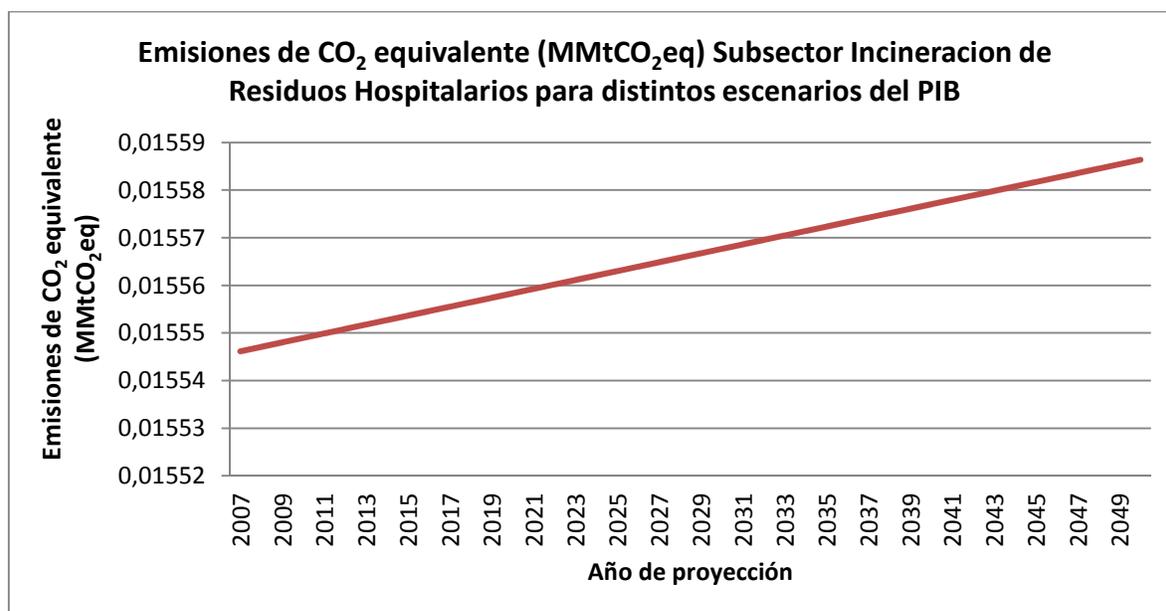
% Variación entre Periodos		
Escenario	Periodo	%Variación
Escenario Único	2006-2020	76%
	2006-2030	131%
	2006-2050	240%

Fuente: Elaboración propia

La variación de emisiones de este sector entre los años 2006 y 2050 es de 240%.

### 7.3 INCINERACIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS

En el siguiente gráfico y los siguientes cuadros, se presentan los resultados de las emisiones producto de la incineración de residuos hospitalarios.



**Gráfico 6. Emisiones: Incineración de Residuos Hospitalarios**

**Cuadro 34. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de la Incineración de Residuos Hospitalarios**

Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente (MMtCO <sub>2</sub> eq)				
Definición de series	2007	2020	2030	2050
Escenario Único	0,01554617	0,015558318	0,015567662	0,01558635

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 35. Porcentaje de variación en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Incineración de Residuos Hospitalarios**

% Variación entre Periodos		
Escenario	Periodo	%Variación
Escenario único	2006-2020	0,07%
	2006-2030	0,06%
	2006-2050	0,12%

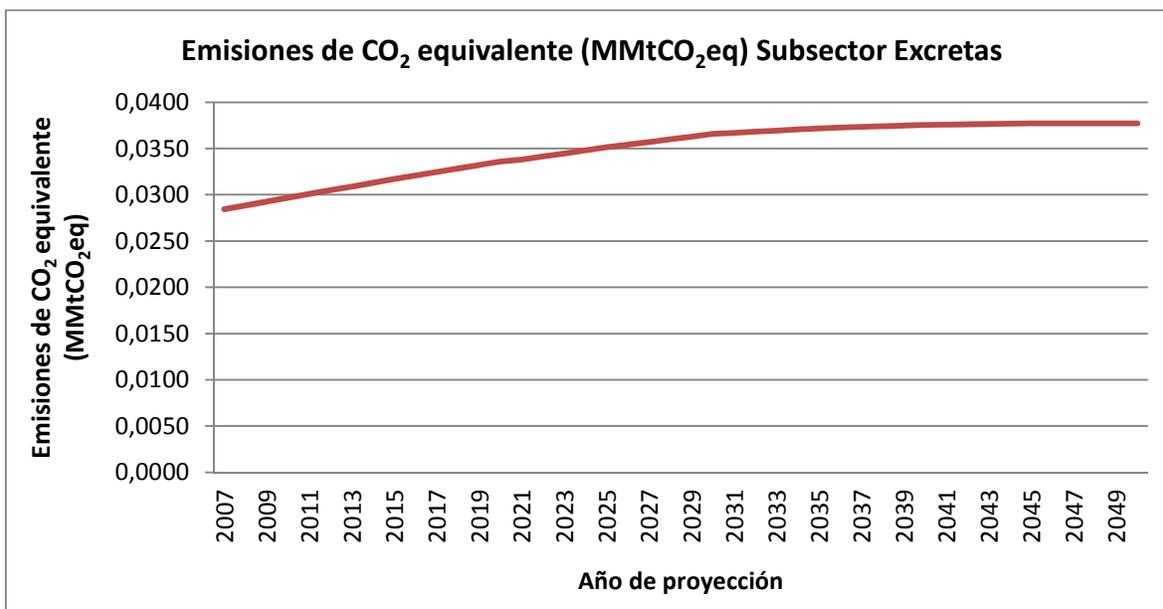
Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el subsector de Residuos Líquidos, domiciliarios e industriales, la proyección de la variable clave para obtener las emisiones producto de la incineración de residuos hospitalarios, se realizó en base a un modelo tendencial de acuerdo a los datos históricos de 9 años.

En el gráfico se observa una tendencia creciente muy suave, y al observar los datos de los Cuadros se observa una tasa de crecimiento baja, considerando que al año 2050 las emisiones aumentarían un 0,12% respecto del 2006. Esto se debe a que los datos históricos disponibles presentan un suave incremento anual.

## 7.4 EXCRETAS HUMANAS

En el siguiente gráfico se presentan la proyección de emisiones del sector excretas humanas para el período 2007-2050.



**Gráfico 7. Emisiones: Excretas Humanas**

Las emisiones provenientes de las excretas humanas están directamente relacionadas al consumo de proteínas por persona, por lo que hasta el año 2030 se observa una tendencia creciente marcada y luego se suaviza. Esto ocurre porque el consumo de proteínas per cápita es creciente hasta el año 2030, y para los años posteriores se fijó al alcanzar los valores de consumo de países de altos ingresos.

En el Cuadro 36 y 37 se presentan las variaciones en las emisiones de GEI.

**Cuadro 36. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente provenientes de Excretas Humanas**

Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente (MMtCO <sub>2</sub> eq)				
Descripción de Series	2007	2020	2030	2050
Escenario Pesimista	0,0284	0,0336	0,0366	0,0377

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 37. Porcentaje de variación en las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de Excretas Humanas**

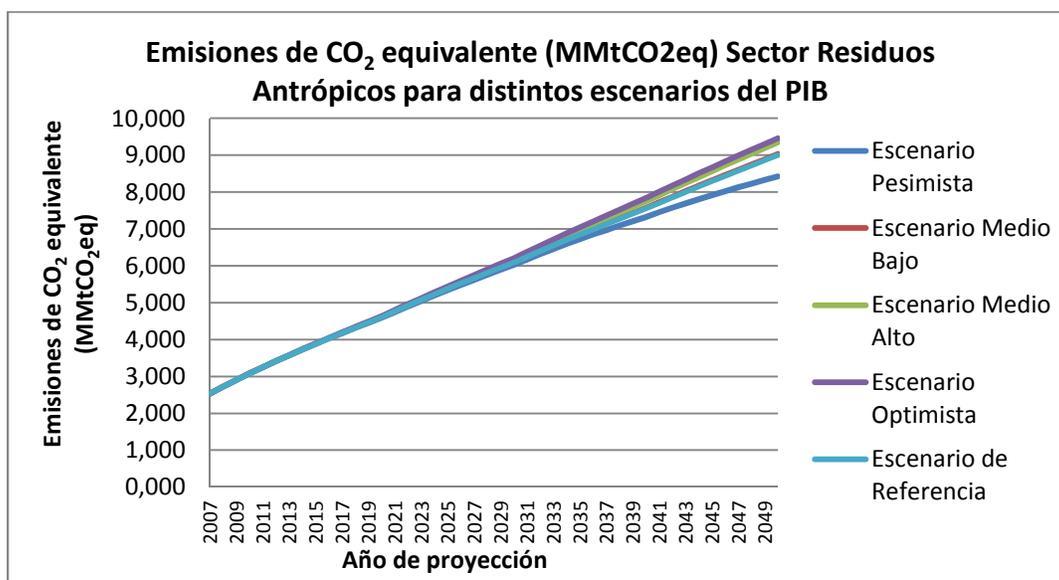
% Variación entre Periodos		
Escenario	Periodo	%Variación
Escenario Único	2006-2020	35,19%
	2006-2030	47,20%
	2006-2050	51,83%

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en los cuadros anteriores, y como se observó en el gráfico anterior, los primeros años, hasta el 2030 se presenta el mayor crecimiento de las emisiones con 47% respecto del año 2006. Veinte años después, al año 2050, se observa un crecimiento de las emisiones de un 51,8% respecto al año 2006.

## 7.5 EMISIONES TOTALES DEL SECTOR RESIDUOS ANTRÓPICOS

En el Gráfico 8 se presentan las emisiones propias del sector de Residuos Antrópicos. Esto se obtuvo de la suma de los subsectores descritos anteriormente. En el caso de las emisiones provenientes del tratamiento de RILes, Aguas Domésticas, Incineración de Residuos Hospitalarios y Excretas Humanas, para las cuales no se utilizó un modelo que relacione el crecimiento de las emisiones con el PIB nacional, se presenta un escenario único en base a tendencias lineales. Estos escenarios únicos, sumados a cada escenario PIB de Residuos Sólidos Urbanos entregan el total de emisiones del sector para cada escenario.



**Gráfico 8: Emisiones Totales: Sector de Residuos Antrópicos**

Las curvas del gráfico anterior, en todos los escenarios son muy similares a las presentadas en el Gráfico 2 de residuos sólidos. Esto se debe a que este tipo de residuos constituye más del 80% de las emisiones del sector (ver Gráfico 10), por lo que define el comportamiento del total de los gases de efecto invernadero emitidos.

En el Cuadro siguiente, se presenta el aporte de cada subsector en cada escenario de estudio.

**Cuadro 38. Emisiones por subsector y escenario**

Emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente por subsector y escenario (MMtCO <sub>2</sub> eq)					
Subsector	Escenario	2007	2020	2030	2050
Residuos Sólidos Urbanos	Escenario Pesimista	2,1329	3,9370	5,1824	7,2231
	Escenario Medio Bajo	2,1331	3,9607	5,2666	7,8299
	Escenario Medio Alto	2,1332	3,9782	5,3340	8,1460
	Escenario Optimista	2,1332	3,9858	5,3735	8,2551

<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por subsector y escenario (MMtCO<sub>2</sub>eq)</b>					
<b>Subsector</b>	<b>Escenario</b>	<b>2007</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
	Escenario de Referencia	2,1331	3,9547	5,2536	7,7974
<b>Aguas Residuales Domésticas</b>	Escenario Único	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005
<b>RILes</b>	Escenario Único	0,3567	0,5964	0,7808	1,1495
<b>Incineración de Residuos Hospitalarios</b>	Escenario Único	0,0155	0,0156	0,0156	0,0156
<b>Excretas Humanas</b>	Escenario Único	0,0284	0,0336	0,0366	0,0377

Como se mencionó anteriormente, la mayor cantidad de emisiones proviene de los Residuos Sólidos Urbanos. En comparación a estas, las emisiones de los otros subsectores son bastante bajas, de las cuales las mayores provienen del tratamiento de RILes.

En el Cuadro 39, se presentan los totales según escenario de PIB, y en el Cuadro 40, las variaciones de dichas emisiones en el tiempo.

**Cuadro 39. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente provenientes del sector Residuos Antrópicos**

<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (MMtCO<sub>2</sub>eq)</b>				
<b>Descripción de Series</b>	<b>2007</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
<b>Escenario Pesimista</b>	2,5340	4,5830	6,0157	8,4264
<b>Escenario Medio Bajo</b>	2,5342	4,6067	6,1000	9,0332
<b>Escenario Medio Alto</b>	2,5343	4,6242	6,1674	9,3492
<b>Escenario Optimista</b>	2,5343	4,6318	6,2068	9,4584
<b>Escenario de Referencia</b>	2,5342	4,6007	6,0870	9,0007

Fuentes: Elaboración propia

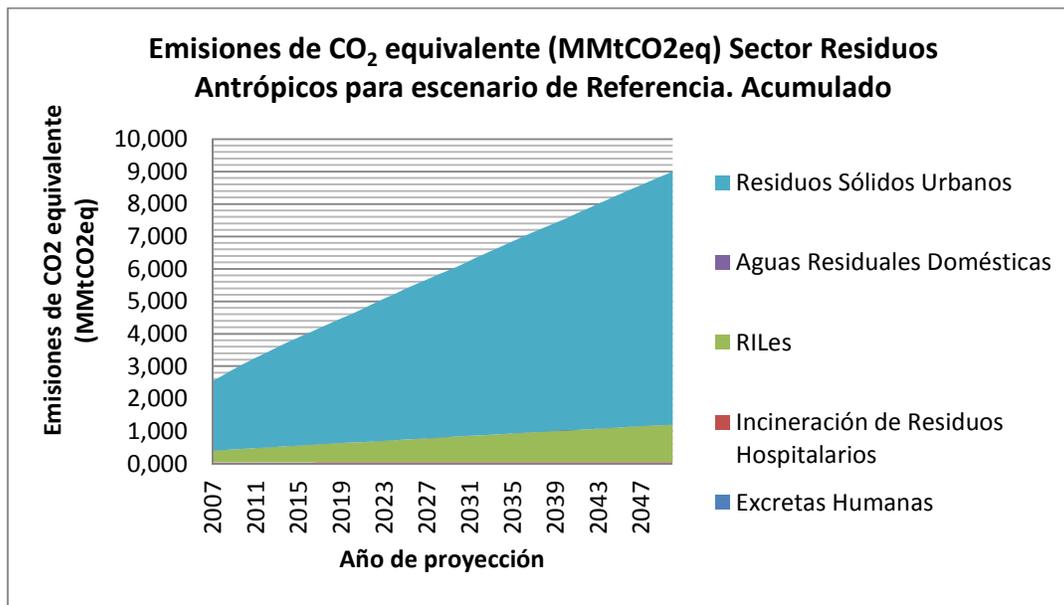
**Cuadro 40. Variación de emisiones entre los distintos escenarios en base al escenario de referencia**

% Variación entre Periodos		
Escenario	Periodo	%Variación
Escenario Pesimista	2006-2050	297%
Escenario Medio Bajo	2006-2050	316%
Escenario Medio Alto	2006-2050	338%
Escenario Optimista	2006-2050	362%
Escenario de Referencia	2006-2050	312%

Fuente: Elaboración propia

Del cuadro anterior se observa un crecimiento de las emisiones de hasta tres veces el valor de referencia correspondiente al año 2006.

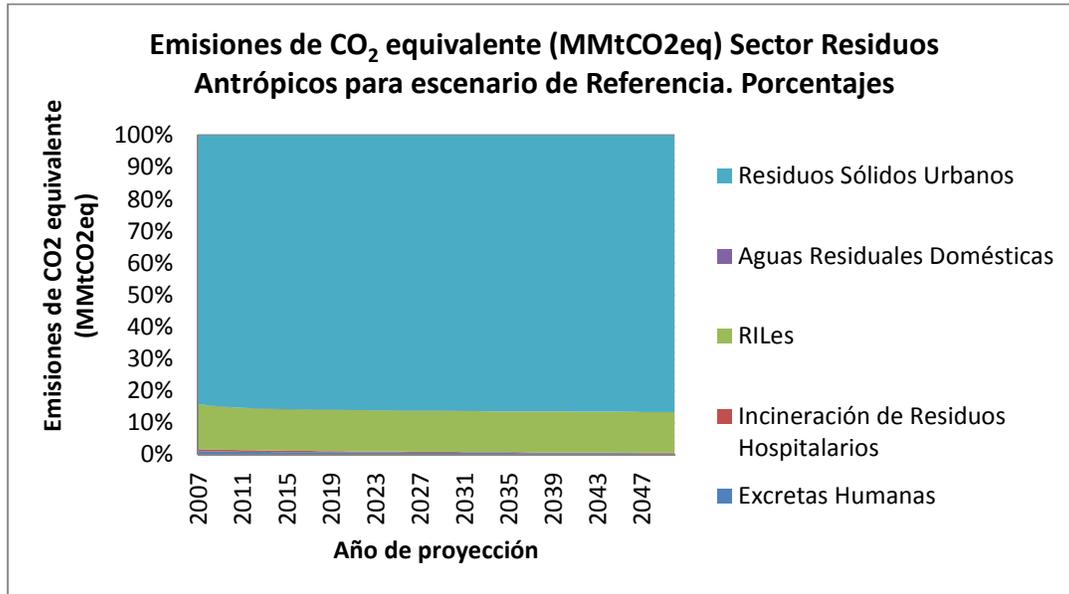
En el Gráfico 9 se presentan las emisiones agregadas de los 5 subsectores del presente estudio.



**Gráfico 9. Emisiones acumuladas por subsectores para el sector Residuos Antrópicos**

Como se observa en el gráfico anterior, las emisiones totales son cercanas a las 2 MMtCO<sub>2</sub>eq el año 2006 y, para el año 2050 son cercanas a las 9 MMtCO<sub>2</sub>eq, siendo las emisiones más significativas las que provienen de la descomposición de la materia orgánica de residuos sólidos dispuestos en SEDS, y las provenientes de tratamientos de RILes.

A continuación se presenta el porcentaje de aporte de cada subsector a las emisiones totales del sector Residuos Antrópicos.



**Gráfico 10. Aporte de cada subsector a las emisiones del sector Residuos Antrópicos**

Las emisiones provenientes de los Residuos Sólidos Urbanos constituyen entre el 80% y 90% del total de emisiones del sector, siendo su aporte cada vez mayor a medida que pasan los años.

El caso de los residuos líquidos industriales, si bien constituye un gran aporte en cuanto a las emisiones del sector, éste no supera el 20%. Mientras que las emisiones del resto de los subsectores son cercanas al 1%, por lo que se consideran despreciables.

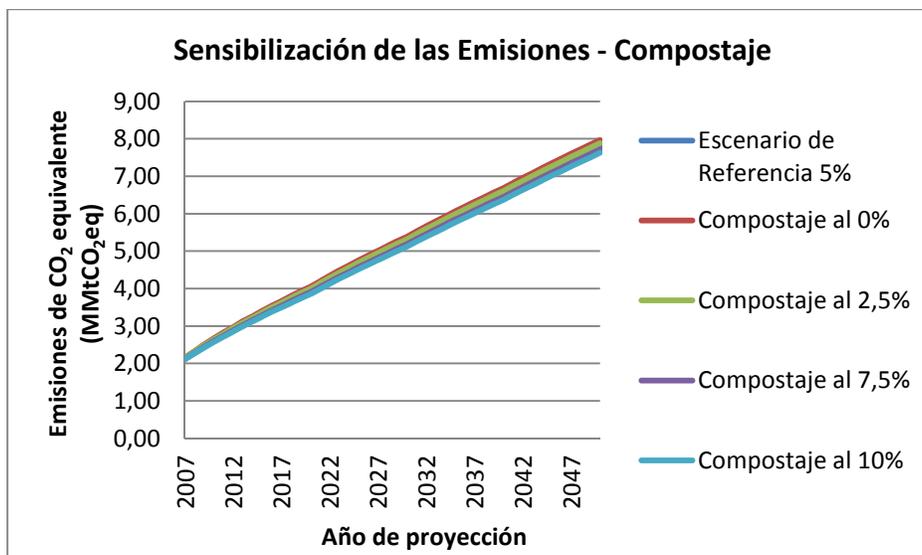
## 8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad se elaboró únicamente para el subsector Residuos Sólidos Urbanos, ya que representa más del 80% del total de las emisiones del sector. Además, es importante señalar que éste se realizó únicamente sobre el escenario de referencia, considerando que representa los valores medio de los escenarios presentados.

Las sensibilizaciones se realizaron a distintos escenarios de compostaje, reciclaje de papel y cartón, PPC de alimentos y de incineración o captura de metano.

### 8.1 Compostaje

En el gráfico siguiente, se presentan las variaciones en las emisiones del subsector Residuos Sólidos Urbanos que se producen al variar los porcentajes de compostaje.



**Gráfico 11. Sensibilización de emisiones RSU en base al escenario de Referencia - Compostaje**

Como puede observarse, a medida que aumenta la tasa de compostaje, menores son las emisiones, ya que aumenta la tasa de residuos de alimentos que se envían a compostaje, en donde reciben un tratamiento controlado para disminuir los GEI emitidos.

En cuadro siguiente, se presenta un resumen de las emisiones para cada tasa de compostaje aplicada.

**Cuadro 41. Sensibilización de emisiones RSU en base al escenario de Referencia - Compostaje**

Resumen Sensibilización Compostaje				
Sensibilización	2007	2020	2030	2050
Escenario de Referencia 5%	2,13	3,95	5,25	7,80
Compostaje al 0%	2,15	4,05	5,39	7,97
Compostaje al 2,5%	2,14	4,00	5,32	7,88
Compostaje al 7,5%	2,12	3,91	5,19	7,71
Compostaje al 10%	2,11	3,86	5,12	7,62

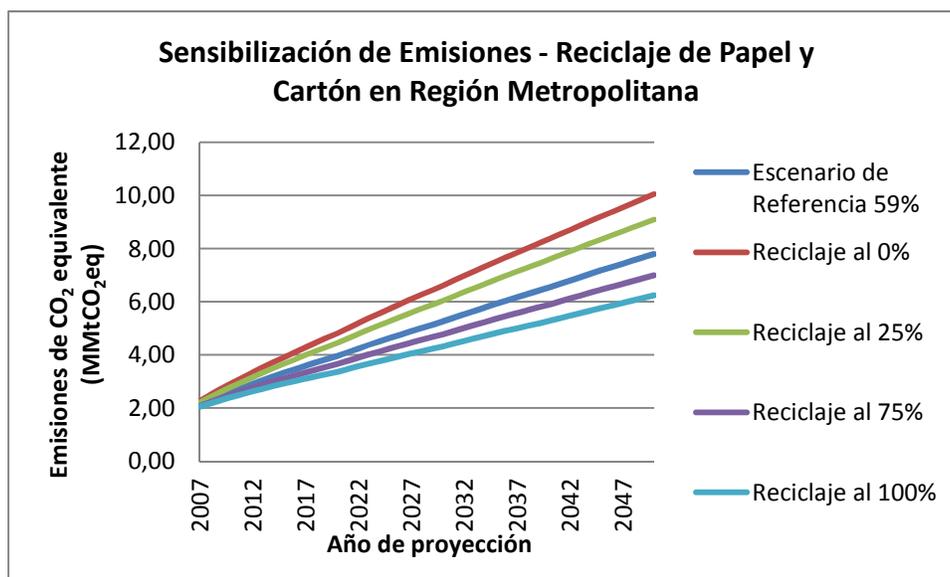
Fuente: Elaboración propia

La sensibilización de las emisiones se realizó en base a los cálculos para el escenario “PIB referencia”, en donde sólo fueron reemplazados los valores de porcentaje de alimentos enviados a compostaje. Como se mencionó anteriormente, con la tasa de compostaje al 10% las emisiones disminuyen casi 0,2 MMtCO<sub>2</sub>eq, lo que significa una variación de casi un 2%.

## 8.2 Reciclaje de Papel y Cartón

La sensibilización en cuanto al reciclaje de papel respecta, se realizó de la misma manera que la de compostaje, en base a los cálculos de emisiones del escenario de referencia del PIB, sólo cambiando la tasa de reciclaje de la Región Metropolitana, mientras que la tasa

de reciclaje en otras regiones se mantuvo en 0% para todas las sensibilizaciones. Los escenarios definidos están en torno al valor de 59% considerado en el escenario de referencia para la Región Metropolitana, y varían entre 0% y 100%. A continuación se presentan las emisiones sensibilizadas.



**Gráfico 12. Sensibilización de emisiones RSU en base al escenario de Referencia – Reciclaje de Papel**

En base a lo observado en el gráfico, existe una diferencia en las emisiones totales del subsector RSU importante entre los escenarios propuestos, haciéndose cada vez más extensa dicha diferencia con los años.

En el Cuadro 42 se puede distinguir con mayor detalle la influencia que tiene esta medida de mitigación sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del subsector RSU.

**Cuadro 42. Sensibilización de emisiones RSU en base al escenario de Referencia – Reciclaje de Papel**

Resumen Sensibilización Reciclaje de Papel y Cartón				
Sensibilización	2007	2020	2030	2050
Escenario de Referencia 59%	2,13	3,95	5,25	7,80

<b>Resumen Sensibilización Reciclaje de Papel y Cartón</b>				
<b>Sensibilización</b>	<b>2007</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
<b>Reciclaje al 0%</b>	2,26	4,81	6,61	10,04
<b>Reciclaje al 25%</b>	2,20	4,45	6,03	9,09
<b>Reciclaje al 75%</b>	2,09	3,65	4,77	7,00
<b>Reciclaje al 100%</b>	2,05	3,36	4,31	6,24

Fuente: Elaboración propia

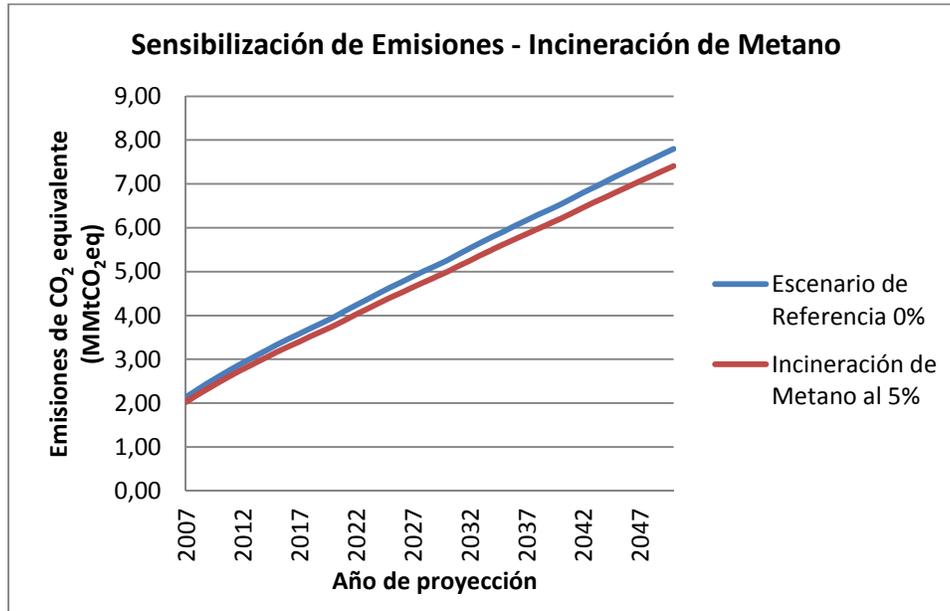
Las emisiones entre un escenario con 0% de papel y cartón llevado a reciclaje, frente a uno donde se recicla el 100% de estos residuos generados (sólo en la Región Metropolitana), tienen una diferencia de -4,14 MMtCO<sub>2</sub>eq, o sea, una variación de -37%.

### 8.3 Incineración o Captura de Metano

La sensibilización en base a la incineración o captura de metano, al igual que en los casos anteriores, se realizó en base a la planilla de cálculo del escenario de referencia del PIB.

En este caso, los escenarios de sensibilización son ambos reales. Se consideró el 0% como escenario real, ya que no existe información suficiente y confiable sobre quema de metano en los rellenos sanitarios. Sin embargo, algunos rellenos tienen compromisos voluntarios de incorporar en sus procesos, al menos, el 5% de quema, por lo que se consideró este valor para la sensibilización.

A continuación, el gráfico con la sensibilización de las emisiones.



**Gráfico 13. Sensibilización de emisiones RSU en base al escenario de Referencia – Incineración de metano**

De acuerdo al gráfico anterior, existe una leve variación en las emisiones GEI en el escenario de sensibilización producto de la incineración del 5% del metano generado en rellenos en comparación con las emisiones del escenario de referencia. En el Cuadro 43 se observa esta variación con mayor detalle.

**Cuadro 43. Sensibilización de emisiones RSU en base al escenario de Referencia – Incineración de metano**

<b>Resumen Sensibilización Incineración o Captura de Metano</b>				
<b>Sensibilización</b>	<b>2007</b>	<b>2020</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
<b>Escenario de Referencia 0%</b>	2,13	3,95	5,25	7,80
<b>Incineración de Metano al 5%</b>	2,03	3,76	4,99	7,41

Fuente: Elaboración propia

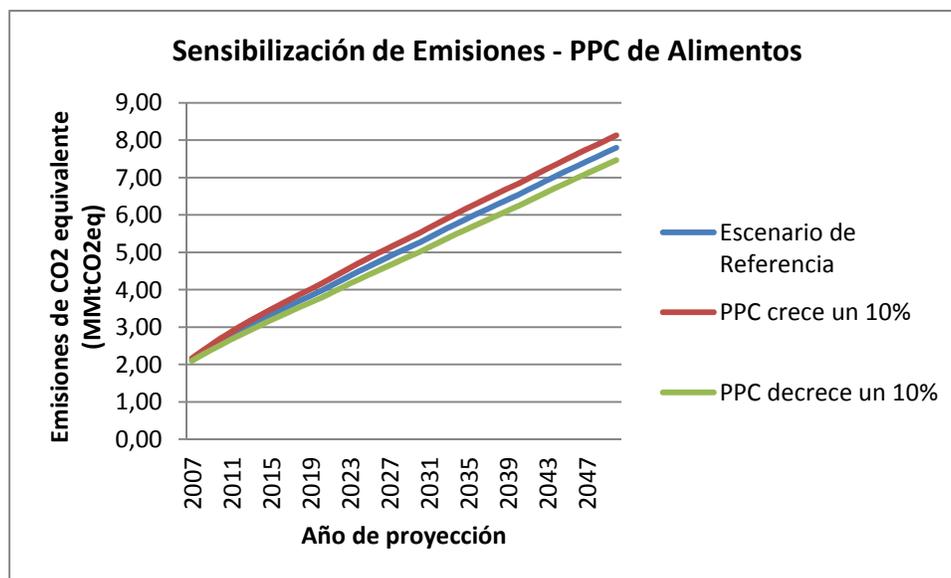
Considerando una quema del 5% del metano generado en los rellenos, la variación en las emisiones es de -0,4 MMtCO<sub>2</sub>eq, lo que significa un 5% menos de GEI.

## 8.4 PPC Alimentos

La sensibilización de acuerdo al PPC de alimentos se realizó en base a la planilla del escenario de Referencia de emisiones de RSU.

Esta sensibilización consiste en medir los cambios en las emisiones al aumentar o disminuir la producción por persona de este residuo. Los valores de sensibilización se aplicaron en forma de porcentaje, considerando un aumento y una disminución en un 10% de esta variable.

En el siguiente gráfico se presentan los resultados.



**Gráfico 14. Sensibilización de emisiones RSU en base al escenario de Referencia – PPC Alimentos**

Como se observa en este gráfico, al variar el PPC en un 10% existe una diferencia notable de las emisiones. Para observar con mayor precisión estos efectos, se presentan los valores en el siguiente cuadro.

**Cuadro 44. Sensibilización de emisiones RSU en base al escenario de Referencia – PPC Alimentos**

Resumen Sensibilización PPC Alimentos				
Sensibilización	2007	2020	2030	2050
Escenario de Referencia	2,13	3,95	5,25	7,80
PPC crece un 10%	2,17	4,14	5,51	8,13
PPC decrece un 10%	2,09	3,77	5,00	7,47

Fuente: Elaboración propia

Como se observa, las emisiones al 2007 ya presentan diferencias, las que se incrementan con el pasar de los años, llegando al 2050 a una diferencia de 0.33 MMtCO<sub>2</sub>eq en ambos casos.

En síntesis, de las sensibilizaciones realizadas en esta etapa, la que genera mayores cambios en las emisiones corresponde al reciclaje de papel y cartón, siendo además una de las más viables económicamente. Esto se debe a que el papel y cartón tienen un alto contenido de componente orgánico, que al descomponerse, genera emisiones mayores a los que generan otros tipos de residuos.

## 9 ESTIMACIÓN DE EMISIONES DEL SECTOR ENTRE 2007-2011

En esta sección, se estiman las emisiones reales para el periodo entre los años 2007 y 2011, y se compara con la proyección realizada.

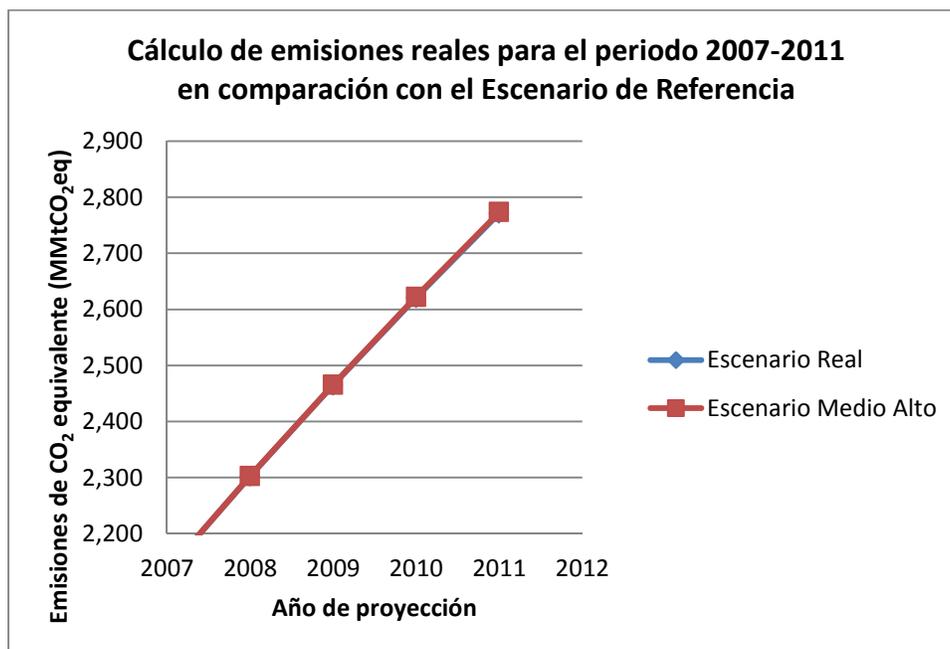
Considerando el alcance del estudio, en acuerdo con la contraparte técnica, la estimación de las emisiones reales se realizó utilizando los modelos de proyección con los valores reales de los *drivers* utilizados, PIB nacional y población nacional. Sólo se realizó el análisis para el sector de Residuos Sólidos Urbanos, ya que es el único sector que utiliza *drivers* para proyectar las variables que determinan el crecimiento de las emisiones. En otros subsectores se utiliza un modelo tendencial para proyectar las variables necesarias para estimar las emisiones, por lo que no utilizan *driver*. En los sectores de Residuos Líquidos Domiciliarios y Excretas Humanas se utiliza además la población para poder determinar las emisiones totales a partir de las variables ya proyectadas.

Para realizar la comparación se contrastará el escenario Real con el Escenario Medio Alto. En el Anexo 5 se presentan las comparaciones entre el escenario real y Medio Alto para los *drivers* PIB nacional y población nacional.

A continuación se detallan los resultados obtenidos.

### 9.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La comparación de escenarios se realiza únicamente para el subsector de RSU, puesto que es el único en el que se aplicó modelo de proyección relacionado con una variable independiente o *driver*. Este corresponde al PIB per cápita, el cual define la generación per cápita de este tipo de residuo. Al comparar el escenario real (datos reales 2007-2011) con el escenario Medio Alto (ver Gráfico 15), se observa que las emisiones prácticamente no varían.



**Gráfico 15. Cálculo de emisiones reales de RSU para periodo 2007-2011 y su comparación con el escenario de Referencia del PIB**

En el siguiente cuadro se presenta la comparación de emisiones reales y proyectadas para el sector de residuos sólidos urbanos.

**Cuadro 45. Comparación de emisiones Escenario de Referencia RSU versus Escenario Real**

<b>Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (MMtCO<sub>2</sub>eq): Comparación de emisiones reales y proyección</b>					
<b>Descripción de Series</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>
<b>Escenario Real</b>	<b>2,133</b>	<b>2,302</b>	<b>2,465</b>	<b>2,620</b>	<b>2,771</b>
<b>Escenario Medio Alto</b>	<b>2,133</b>	<b>2,303</b>	<b>2,466</b>	<b>2,622</b>	<b>2,773</b>

Fuente: Elaboración propia



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**

---



De acuerdo al gráfico y cuadro anteriores, las diferencias entre las emisiones del escenario de referencia y las emisiones reales son mínimas, lo que se explica principalmente a que, como se mencionó en casos anteriores, el modelo de proyección utilizado tiene poca sensibilidad frente a las variaciones del PIB.

## 10 CONCLUSIONES

Para la realización de este trabajo se utilizaron *drivers* para proyectar las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente del sector de Residuos Sólidos Urbanos. Los *drivers* corresponden a la población nacional y el PIB nacional. Las proyecciones de estos *drivers* se realizaron en base a información entregada por el equipo MAPS. En cuanto a la población nacional, las proyecciones tienen una tendencia creciente. Por su parte, el PIB nacional, presenta crecimiento para todos los escenarios, en el medio alto y el optimista, tienden a suavizarse, con tasas de crecimiento cercanas al 2%, hacia los años 2041 y 2032 respectivamente. La proyección de los otros sectores: Residuos líquidos domiciliarios, RILes, incineración de desechos hospitalarios y excretas humanas se realizó a través de modelos tendenciales, basados en información histórica disponible. En el caso de subsector de Residuos Líquidos Domésticos y de Excretas, mediante el modelo tendencial se proyectó la variable a nivel per cápita y posteriormente, en la etapa de cálculo se incorporó la variable población para estimar las emisiones.

Respecto a la calidad de la información, es posible concluir que en general faltan fuentes confiables públicas que entreguen información de calidad para este tipo de estudios. Si bien, el subsector más importante cuenta con información nacional, existen vacíos que tuvieron que ser subsanados mediante juicio experto. Un claro ejemplo de ello es la valorización de los residuos sólidos. Si bien, es de conocimiento común que el reciclaje va en alza, no existe información confiable, disponible al año 2006, para utilizar en este tipo de estudios. Asimismo, existe poca información sobre la composición de los residuos. Faltan estudios que definan la composición en el origen y en disposición a nivel regional. La información de mejor calidad sólo incluye datos de la RM.

Considerando lo mencionado anteriormente, es importante resolver que, si bien fue posible realizar las proyecciones para el periodo 2007-2050 con un nivel de desagregación regional (en el caso de los RSU), existen aún una gran cantidad de vacíos de información por falta de series históricas que permitan la elaboración de modelos de proyección confiables, o información sobre tecnologías aplicadas en Chile con un mayor nivel de detalle, ya que la mayor parte de la información la concentra la Región Metropolitana. Lo mismo ocurre en el caso del resto de los subsectores, que si bien su aporte no es significativo, no fue posible realizar las proyecciones a nivel regional ya que no existe información detallada por región.

En cuanto a la categoría de RILes, es importante destacar que corresponde al subsector con mayores vacíos de información. De hecho, no fue posible determinar un modelo de proyección en base a datos históricos, sino que se realizó una proyección basada en una tendencia lineal de la carga orgánica anual de RILes, considerando dos años de información: 1992 y 1998.

De la proyección de emisiones para el periodo 2007-2050, se concluye que el mayor aporte lo realiza el subsector de Residuos Sólidos Urbanos. Las emisiones provenientes de este subsector representan un 87% al último año de proyección, seguido de las emisiones producto del tratamiento de RILes con un 13% de las emisiones. Los aportes de las Aguas Residuales Domésticas, Incineración de Residuos Hospitalarios y Excretas Humanas, no alcanzan al 1%, por lo que son despreciables para el sector.

Independiente de su aporte, se espera que las emisiones de todos los subsectores de Residuos Antrópicos vayan en aumento. En total, para el año 2020, se prevé que las emisiones sobrepasarán las 4 MMtCO<sub>2</sub>eq, lo que implica un aumento del 82% desde el año 2007. Al año 2030, las emisiones aumentarían hasta alcanzar las 6 MMtCO<sub>2</sub>eq (un aumento respecto al 2007 de un 140%) y para el 2050, las emisiones sobrepasarían las 9 MMtCO<sub>2</sub>eq, lo que significa un aumento del 255% respecto al primer año de proyección.

En relación a los Residuos Sólidos Urbanos, la Región Metropolitana presenta la mayor tasa de generación per cápita, siendo ésta 1,3 kg/hab/día al año 2007, frente a un promedio regional de 0,7 kg/hab/día al mismo año. Sin embargo, de acuerdo a las proyecciones realizadas, se espera que la brecha entre Región Metropolitana y Otras Regiones vaya en disminución, llegando al año 2050 a un valor de 1,7 kg/hab/día en la RM y 1,25 kg/hab/día en Otras Regiones (ver Anexo 7). La Región Metropolitana, dado que es la región más poblada, constituye la generación total de residuos más grande a nivel nacional, con un total del 5.045 gigagramos de residuos al año 2050, de los cuales son dispuestos 3.785 en SEDS (un 75% del total generado).

El análisis de sensibilidad para el subsector de residuos sólidos urbanos, que fue aplicado sobre las variables con mayores incertidumbres: PPC de alimentos, compostaje de residuos orgánicos, reciclaje de papel y cartón e incineración o captura de metano, permite concluir que el reciclaje de papel y cartón tiene un mayor impacto sobre las emisiones finales, mientras que el compostaje y la incineración tienen un bajo impacto sobre las emisiones, dado los valores utilizados para realizar la sensibilidad.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Por su parte, se proyectaron las emisiones para el subsector de residuos líquidos, conformado por los del tipo doméstico e industrial. La categoría de residuos líquidos domésticos, incluye las aguas y lodos de origen doméstico que generan emisiones producto de los sistemas de tratamiento. Estas emisiones, si bien fueron descritas como despreciables por representar menos del 1% del total de emisiones del sector (0,01%), muestran un aumento anual, siendo al año 2050 un crecimiento del 33% respecto del año 2006. Por otro lado, la categoría de los residuos líquidos industriales corresponde a la segunda categoría que más aporta a las emisiones GEI del sector. Debido a su metodología, este subsector no presenta escenarios en función del PIB nacional. Se observa un aumento en las emisiones de esta categoría del 222% al 2050, respecto de las emisiones iniciales del año 2006.

El tercer subsector estudiado calcula las emisiones provenientes de la incineración de residuos hospitalarios. Al año 2007, las emisiones de este subsector constituyen un 0,61% del total de las emisiones del sector y para el 2050 este porcentaje disminuye al 0,17% debido, principalmente, al gran crecimiento de los dos subsectores más importantes. Las emisiones de este subsector muestran una suave tendencia creciente. Entre los años 2007 y 2050 existe un aumento de emisiones del 0,26%, para el escenario de referencia.

Por último, las emisiones de excretas humanas constituyen el cuarto subsector en estudio, con un aporte al 2050 de 0,42% del total de las emisiones del sector, correspondientes a 0,0093 MMtCO<sub>2</sub>eq aproximadamente.



## 11 BIBLIOGRAFÍA

1. Banco Central. Cuentas Nacionales. Consultado el 05 de marzo de 2012. Disponible en: <http://si3.bcentral.cl/Siete/secure/cuadros/home.aspx>. Chile. 2012.
2. Baraño P. y L. Tapia. Tratamiento de las aguas servidas: situación en Chile. Ciencia & Trabajo. (13): 111-117. 2004.
3. Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile. Informe Final. Chile. 1997.
4. CEPAL. La economía del cambio climático. Síntesis. 2009.
5. Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile. Chile. 2010.
6. Department of Energy and Climate Change, United Kingdom. 2050 Pathways Analysis. United Kingdom. 2010. Disponible en: <http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/tackling/2050/2050.aspx>
7. Department on Climate Change and Efficiency, Australia. Australia's emissions projections 2010. Technical papers for each sectorial projection. Australia. 2010. Documentos disponibles en: <http://www.climatechange.gov.au/publications/projections/australiasemissionsprojections.aspx>
8. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1980. Chile. 2001.
9. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1981. Chile. 2000.
10. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1982. Chile. 1999.
11. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1983. Chile. 1984.
12. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1984. Chile. 1985.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



13. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1985. Chile. 1986.
14. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1986. Chile. 1987.
15. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1987. Chile. 1988.
16. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1988. Chile. 1989.
17. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1989. Chile. 1990.
18. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1990. Chile. 1991.
19. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1991. Chile. 1992.
20. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1992. Chile. 1993.
21. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1993. Chile. 1994.
22. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1994. Chile. 1995.
23. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1995. Chile. 1996.
24. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1996. Chile. 1997.
25. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1997. Chile. 1998.
26. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1998. Chile. 1999.
27. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 1999. Chile. 2000.
28. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 2000. Chile. 2001.
29. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 2001. Chile. 2002.
30. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 2002. Chile. 2003.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



31. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 2003. Chile. 2004.
32. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 2004. Chile. 2005.
33. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 2005. Chile. 2006.
34. Dirección Meteorológica de Chile. Anuario Climatológico 2006. Chile. 2007.
35. ECOAMERICA. Catastro Ambiental RISES. Segundo Catastro de sitios de disposición final, gestión y tratamiento de residuos sólidos, domiciliarios e industriales. Chile. 2012.
36. ECOING. Estudio de la evaluación de impactos económicos, ambientales y sociales de la implementación de la REP en Chile. Chile. 2008.
37. Empresas CMPC S.A. Memoria Social y Ambiental Empresas CMPC S.A. Chile. 2003.
38. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). FAO-STAT Balances alimentarios. 2012. Disponible en <http://faostat.fao.org/site/368/default.aspx#anchor>
39. Hyder. Bathurst, Orange and Dubbo Councils greenhouse gas inventory. Australia. 2011.
40. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Complementos y Actualización del Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para Chile en los Sectores de Agricultura, Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, y Residuos Antrópicos. Chile. 2010.
41. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Inventarios anuales de gases de efecto invernadero de Chile. Serie temporal 1984/2003 para sectores No-Energía. Boletín INIA N° 185. Chile. 2009.
42. Instituto Nacional de Estadística (INE). Programa de Proyecciones de la Población. Departamento de Demografía. Chile. 2008.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



43. Instituto IFEU. Manual. Calculadora de MRS-GEI. Herramienta de cálculo de gases de efecto invernadero (GEI) en el manejo de residuos sólidos (MRS). Chile. 2009.
44. Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación (INEE). Panorama Educativo de México 2007. Indicadores del Sistema Educativo Nacional. México. 2007. Disponible en: [http://www.oei.es/pdfs/panorama\\_educativo\\_mexico2007.pdf](http://www.oei.es/pdfs/panorama_educativo_mexico2007.pdf)
45. MAPS Chile. Opciones para enfrentar el cambio climático. 2012. Disponible en: <http://www.mapschile.cl/el-proyecto/resumen-del-proyecto>
46. Ministerio de Planificación (MIDEPLAN). Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables. Chile. 2009.
47. Olley, J.E. Solid Waste Streams Regional and Cultural Variability. Inglaterra. Sin año.
48. Opciones de Mitigación para Enfrentar el Cambio Climático MAPS Chile. Parámetros Transversales a ser Utilizados en Estudios de Línea Base adjudicados bajo el proyecto MAPS Chile – Agosto 2012. Chile. 2012.
49. Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático (IPCC). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases ed efectos invernadero Volumen 5 – Desechos. 2006.
50. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informe anual de coberturas urbanas de servicios sanitarios. Chile. 2011.
51. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2000. Chile. 2000.
52. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2001. Chile. 2001.
53. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2002. Chile. 2002.
54. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2003. Chile. 2003.



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



55. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2004. Chile. 2004.
56. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2005. Chile. 2005.
57. Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Informe de Gestión del Sector Sanitario 2006. Chile. 2006.
58. Taviv R., M. Van der Merwe, B. Scholes & G. Collet. Non-energy emissions Agriculture, Forestry and Waste. An input into the Long Term Mitigation Scenarios process. Departmento of Enviromenent Affairs and Tourism. South Africa. 2007.

## 12 ANEXOS

### 12.1 Anexo 1: Metodología de proyección del PIB, Población Nacional, Población Urbana Nacional y PIB per cápita

Como se mencionó en la metodología, la proyección de estos *drivers* se realizó en base a las tasas de crecimiento entregadas por el equipo MAPS. A continuación se detallan los modelos de proyección y la información utilizada.

#### Ecuación 26. Proyección del PIB Nacional

$$PIB_T = PIB_{T-1} \times (1 + \Delta PIB_T)$$

Dónde:

$PIB_T$  : PIB para el año T

$PIB_{T-1}$  : PIB para el año previo al año T

$\Delta PIB_T$  : Tasa de crecimiento del PIB para el año T

#### Ecuación 27. Proyección de la Población (Nacional y Regional)

$$P_T = P_{T-1} \times (1 + \Delta P_T)$$

Dónde:

$P_T$  : Población para el año T

$P_{T-1}$  : Población para el año previo al año T

$\Delta P_T$  : Tasa de crecimiento de la población para el año T

Luego, el PIB per cápita nacional se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

#### Ecuación 28. Cálculo de PIB per cápita

$$PIB(per\ cápita)_T = \frac{PIB_T}{P_T}$$

Dónde:

$PIB(per\ cápita)_T$  : PIB per cápita para el año T

$P_T$  : Población para el año T

$PIB_T$  : Población para el año previo al año T

En los Cuadros siguientes se presenta la información utilizada para estas proyecciones: los datos históricos de PIB y población, y las tasas de crecimiento.

**Cuadro 46. Datos históricos sobre Población y PIB**

Información Histórica de Población		Información Histórica de PIB	
Año	Población	Año	Población
1984	11.916.572	1984	17.790,00
1985	12.102.174	1985	18.151,00
1986	12.317.494	1986	19.171,55
1987	12.532.815	1987	20.412,28
1988	12.748.135	1988	21.911,02
1989	12.963.457	1989	24.228,29
1990	13.178.782	1990	25.142,43
1991	13.422.010	1991	27.136,67
1992	13.665.241	1992	30.438,18
1993	13.908.473	1993	32.559,29
1994	14.151.708	1994	34.416,72
1995	14.394.940	1995	38.028,59
1996	14.595.504	1996	40.831,60
1997	14.796.076	1997	43.526,55
1998	14.996.647	1998	44.944,34
1999	15.197.213	1999	44.616,35
2000	15.397.784	2000	46.605,20
2001	15.571.679	2001	48.165,63
2002	15.745.583	2002	49.209,33
2003	15.919.479	2003	51.156,42
2004	16.093.378	2004	54.246,82
2005	16.267.278	2005	57.262,64
2006	16.432.674	2006	59.890,97

Fuente: Elaboración propia en base a información de INE (2002) y Banco Central (2012)

**Cuadro 47. Tasas de Crecimiento para la Población y el PIB entregadas por Equipo MAPS**

Tasa de Crecimiento de la Población (%)		Tasa de Crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) 2007-2050 (%)					
Año	Escenario único	Escenarios	Pesimista	Medio Bajo	Medio Alto	Optimista	Referencia
2007	1,01	2007	5,3	5,3	5,3	5,3	4,6
2008	1	2008	5,3	5,3	5,3	5,3	3,7
2009	0,99	2009	3	4	5	6	-1,7
2010	0,98	2010	3	4	5	6	5,2
2011	0,9	2011	3	4	5	6	5
2012	0,89	2012	3	4	5	6	5
2013	0,89	2013	3	4	5	6	5
2014	0,88	2014	3	4	5	6	5
2015	0,87	2015	3	4	5	6	5
2016	0,77	2016	3	4	5	6	4
2017	0,76	2017	3	4	5	6	4
2018	0,75	2018	3	4	5	6	4
2019	0,75	2019	3	4	5	6	4
2020	0,74	2020	3	4	5	6	4
2021	0,63	2021	3	4	5	6	4
2022	0,62	2022	3	4	5	6	4
2023	0,62	2023	3	4	5	6	4
2024	0,61	2024	3	4	5	6	4
2025	0,61	2025	3	4	5	6	4
2026	0,48	2026	3	4	5	6	4
2027	0,48	2027	3	4	5	6	4
2028	0,47	2028	3	4	5	6	4
2029	0,47	2029	3	4	5	6	4
2030	0,47	2030	3	4	5	6	4
2031	0,33	2031	3	4	5	6	4
2032	0,33	2032	3	4	5	2,33	4
2033	0,33	2033	3	4	5	2,33	4
2034	0,33	2034	3	4	5	2,33	4
2035	0,33	2035	3	4	5	2,33	4
2036	0,2	2036	3	4	5	2,2	4
2037	0,2	2037	3	4	5	2,2	4
2038	0,2	2038	3	4	5	2,2	4
2039	0,2	2039	3	4	5	2,2	4
2040	0,2	2040	3	4	5	2,2	4
2041	0,08	2041	3	4	2,08	2,08	4
2042	0,08	2042	3	4	2,08	2,08	4
2043	0,08	2043	3	4	2,08	2,08	4
2044	0,08	2044	3	4	2,08	2,08	4
2045	0,08	2045	3	4	2,08	2,08	4
2046	0,01	2046	3	4	2,01	2,01	4
2047	0,01	2047	3	4	2,01	2,01	4
2048	0,01	2048	3	4	2,01	2,01	4
2049	0,01	2049	3	4	2,01	2,01	4
2050	0,01	2050	3	4	2,01	2,01	4

Fuente: Equipo MAPS (2012)



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**

---



Por último, para la proyección de la población urbana, se utilizaron los datos históricos del INE (2008) y se realizó una correlación lineal de cada dato regional en base a la población total nacional para cada año.

A continuación se presenta la información histórica utilizada para la proyección.



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
 DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
 EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



**Cuadro 48. Información histórica de población urbana**

Información Histórica de Población Urbana													
Descripción series	I	II	III	IV	V	XIII	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<b>1990</b>	315.329	395.296	206.739	350.840	1.229.288	5.009.202	439.560	493.662	1.327.670	472.889	573.125	57.272	128.156
<b>1991</b>	323.862	405.830	209.900	363.281	1.246.513	5.108.933	451.952	506.459	1.354.017	485.615	591.862	59.055	128.888
<b>1992</b>	332.362	416.350	213.055	375.733	1.263.730	5.208.709	464.336	519.269	1.380.366	498.333	610.583	60.854	129.629
<b>1993</b>	340.876	426.864	216.225	388.173	1.280.960	5.308.491	476.720	532.052	1.406.709	511.050	629.324	62.649	130.363
<b>1994</b>	349.386	437.379	219.380	400.598	1.298.189	5.408.335	489.101	544.851	1.433.054	523.763	648.047	64.440	131.081
<b>1995</b>	357.908	447.904	222.543	413.029	1.315.404	5.508.129	501.487	557.648	1.459.404	536.485	666.752	66.245	131.817
<b>1996</b>	368.799	457.146	225.651	426.527	1.338.368	5.602.722	513.139	569.065	1.479.118	549.238	683.430	68.114	133.861
<b>1997</b>	379.693	466.408	228.782	440.048	1.361.311	5.697.251	524.802	580.505	1.498.856	561.978	700.091	69.986	135.899
<b>1998</b>	390.585	475.672	231.905	453.564	1.384.263	5.791.789	536.446	591.945	1.518.592	574.746	716.751	71.849	137.944
<b>1999</b>	401.471	484.919	235.010	467.070	1.407.220	5.886.390	548.104	603.356	1.538.313	587.496	733.419	73.723	139.986
<b>2000</b>	412.354	494.191	238.122	480.577	1.430.171	5.980.949	559.768	614.791	1.558.048	600.254	750.074	75.590	142.024
<b>2001</b>	417.560	500.998	239.833	490.363	1.448.578	6.050.835	566.599	621.043	1.572.646	606.285	760.081	76.864	142.545
<b>2002</b>	422.767	507.781	241.511	500.139	1.466.985	6.120.763	573.442	627.295	1.587.232	612.314	770.113	78.149	143.067
<b>2003</b>	427.963	514.593	243.207	509.916	1.485.379	6.190.712	580.277	633.546	1.601.819	618.338	780.122	79.426	143.582
<b>2004</b>	433.177	521.395	244.887	519.707	1.503.792	6.260.608	587.099	639.803	1.616.406	624.382	790.143	80.697	144.107
<b>2005</b>	438.378	528.189	246.582	529.478	1.522.194	6.330.547	593.929	646.058	1.631.001	630.413	800.147	81.988	144.623
<b>2006</b>	442.986	534.714	248.216	539.237	1.539.803	6.395.611	600.431	652.161	1.644.770	636.190	809.880	83.261	145.194

Fuente: INE, 2008.

## 12.2 Anexo 2: Modelos de proyección

### 12.2.1 Anexo 2.1. Modelo de proyección de PPC No Alimentos. Subsector Residuos Sólidos Urbanos

A continuación se presentan los resultados arrojados por el programa estadístico sobre el modelo de proyección de PPC de no alimentos.

Dependent Variable: LOG(OTROSPC)  
 Method: Least Squares  
 Date: 05/23/13 Time: 12:19  
 Sample (adjusted): 1985 2006  
 Included observations: 22 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.061672	0.051313	1.201885	0.2442
LOG(PIB)-LOG(POB)	0.032539	0.030857	1.054506	0.3049
LOG(OTROSPC(-1))	0.922054	0.073989	12.46199	0.0000
R-squared	0.996272	Mean dependent var		-1.933001
Adjusted R-squared	0.995879	S.D. dependent var		0.117792
S.E. of regression	0.007562	Akaike info criterion		-6.805349
Sum squared resid	0.001086	Schwarz criterion		-6.656571
Log likelihood	77.85884	Hannan-Quinn criter.		-6.770302
F-statistic	2538.465	Durbin-Watson stat		1.989711
Prob(F-statistic)	0.000000			



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



### 12.3 Anexo 3: Análisis crítico de la información

Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)		Observación
Población histórica hasta año 2006	Todos	Regional	INE	2008	Variación en la generación de residuos, cobertura de PTAS, masa incinerada y proteínas consumidas	Información oficial disponible, en base a proyecciones del censo de 2002.	Buena	Datos regionales disponibles desde 1973 a 2006
Tasa de crecimiento de la población	Todos	Nacional	MAPS	2012	Variación en la generación de residuos, cobertura de PTAS, masa incinerada y proteínas consumidas	Información privada entregada por MAPS	Buena	No Aplica
PIB año 2006	Todos	Nacional	Banco Central	2012	Variación en la generación de residuos, cobertura de PTAS, masa incinerada y proteínas consumidas	Información oficial disponible	Buena	Datos nacionales disponibles desde 1984 a 2006. Se usaron los valores a precios reales, base 2003



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)		Observación
Tasa de crecimiento anual del PIB	Todos	Nacional	MAPS	2012	Variación en la generación de residuos, cobertura de PTAS, masa incinerada y proteínas consumidas	Información privada entregada por MAPS	Buena	No Aplica
Cantidad de RSU dispuestos en SEDS	Residuos Sólidos Urbanos	Regional	INIA	2010	Variación en el total de residuos sólidos dispuestos en SEDS anualmente	Información privada. Datos regionales de disposición desde el año 1984	Buena	Fuente citada considera información de: Catastro de rellenos sanitarios años 2000 y 2005, 2008, CONAMA; Informe anual del medio ambiente, años 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005. INE; Informe anual del medio ambiente, años 2007 (en desarrollo), Depto. Control de la contaminación. Área de residuos sólidos. CONAMA.
Fracción de RSU dispuesto en cada tipo de SEDS	Residuos Sólidos Urbanos	Regional	INIA	2010	Variación en el total de residuos sólidos dispuestos en SEDS anualmente	Información privada. Datos regionales	Buena	Fuente citada considera información de: Catastro de rellenos sanitarios años 2000 y 2005, 2008,



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)	Observación
							CONAMA; Informe anual del medio ambiente, años 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005.
Composición de RSU dispuesto	Residuos Sólidos Urbanos	Nacional	Olley	Sin Año	Variación en DOC por tipo de residuos en los SEDS	Información internacional según ingresos país	Mala  No existe información a nivel nacional. La información existente corresponde a la Región Metropolitana y no se cuenta con series históricas confiables, ya que las mediciones para distintos años corresponden a metodologías de medición diferentes entre sí.
Fracción de alimentos enviados a compostaje	Residuos Sólidos Urbanos	Nacional	CONAMA	2010	Variación en DOC por tipo de residuos en los SEDS	Información oficial disponible	Regular  No existen datos regionales, por lo que se considera igual para todas las regiones. Valores disponibles sólo desde el año 2000.



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)		Observación
Fración de papeles y cartones enviados a reciclaje	Residuos Sólidos Urbanos	Región Metropolitana	CMPC	2003	Variación en DOC por tipo de residuos en los SEDS	Información oficial disponible	Mala	No existe información disponible a nivel regional. Sólo se cuenta con un valor para la Región Metropolitana. Para el resto de las regiones no se considera reciclaje de papel y cartón.
Recuperación de metano	Residuos Sólidos Urbanos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Según normativa, no existe un mínimo de metano a incinerar. Existe un bajo número de proyectos que compromete voluntariamente un porcentaje de incineración. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Temperaturas Medias Anuales	Residuos Sólidos Urbanos	Regional	Dirección Meteorológica de Chile	1984-2007	Variación en la cantidad de metano emitido	Información oficial disponible	Regular	No Aplica



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)		Observación
Precipitaciones Medias Anuales	Residuos Sólidos Urbanos	Regional	Dirección Meteorológica de Chile	1984-2007	Variación en la cantidad de metano emitido	Información oficial disponible	Regular	No Aplica
Evapotranspiración Potencial Anual	Residuos Sólidos Urbanos	Regional	CIREN	1997	Variación en la cantidad de metano emitido	Información oficial disponible	Regular	Datos históricos regionales. Mantienen los mismos valores desde el año 1973 a 1999.
Fracción de carbono orgánico degradable en cada tipo de desecho	Residuos Sólidos Urbanos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Fracción del DOC disuelto que se descompone	Residuos Sólidos Urbanos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Factor de Oxidación	Residuos Sólidos Urbanos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)	Observación	
Factor de Corrección del Metano	Residuos Sólidos Urbanos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Fracción volumétrica de metano en el gas de vertedero generado	Residuos Sólidos Urbanos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Población urbana regional año 2006	Residuos Líquidos	Regional	INE	2008	Variación en la cobertura de las PTAS	Información oficial disponible	Buena	Datos regionales disponibles desde 1973 a 2006
Cobertura de tratamiento de PTAS	Residuos Líquidos	Regional	INIA	2010	Variación en la cobertura de las PTAS	Información privada. Datos regionales	Buena	Datos reales regionales
Cobertura de tratamiento de PTAS	Residuos Líquidos	Regional	SISS	2003-2006	Variación en la cobertura de las PTAS	Información oficial disponible	Buena	Datos reales regionales
DOC	Residuos Líquidos	Nacional	INIA	2010	Variación en la emisión de gases por tratamiento en PTAS	Información privada. Datos regionales	Buena	Datos reales regionales
Fracción de caudal tratado por tipo de tratamiento en las PTAS	Residuos Líquidos	Regional	INIA	2010	Variación en la emisión de gases por tratamiento en PTAS	Información privada. Datos regionales	Buena	Datos reales regionales



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)		Observación
Fracción de lodos tratados por tipo de tratamiento	Residuos Líquidos	Regional	SISS	2003-2006	Variación en la emisión de gases por tratamiento en PTAS	Información oficial disponible	Buena	Datos reales regionales
Componente orgánico degradable de lodos domésticos	Residuos Líquidos	Nacional	INIA	2010	Variación en la emisión de gases por tratamiento en PTAS	Información privada. Datos regionales	Buena	Datos reales regionales
Factor de corrección para PTAS	Residuos Líquidos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Capacidad máxima de producción de metano	Residuos Líquidos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Potencial de calentamiento global de CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O(GWP) (Conversión a emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente)	Residuos Líquidos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Supuesto para estimación de caudal tratado en PTAS (Kg DBO/hab/año)	Residuos Líquidos	Nacional	INIA	2010	Variación en la emisión de gases por tratamiento en PTAS	Información privada	Buena	Datos nacionales basados en juicio experto de INIA, 2010.



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)	Observación
Carga orgánica en RILes	Residuos Líquidos	Regional	INIA	2010	Variación en la cantidad de metano emitido	Información privada. Datos regionales	Mala Fuente citada considera información de: Catastro Nacional de RILes de la SISS sólo para dos años: 1992 y 1998. No existe información nacional posterior.
Capacidad máxima de producción de metano para aguas industriales	Residuos Líquidos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Factores de emisión por tipo de PTAS para RILes	Residuos Líquidos	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Fracción del caudal tratado por tipo de tratamiento	Residuos Líquidos	Nacional	INIA	2010	Variación en la cantidad de metano emitido	Información oficial disponible	Mala Fuente citada considera información de: Catastro Nacional de RILes de la SISS de 1998. No existe información nacional posterior.



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)		Observación
Masa de residuos incinerada	Incineración Residuos Hospitalarios	Nacional	INIA	2010	Variación en la cantidad de metano emitido	Información oficial disponible	Mala	Existe escasa información en relación a la masa total de residuos incinerados en empresas privadas.
Fracción de materia seca en residuos incinerados	Incineración Residuos Hospitalarios	Nacional	INIA	2010	Variación en la cantidad de metano emitido	Información oficial disponible	Regular	Fuente citada considera información de: ECOWORLD, valor válido para residuos hospitalarios y cementerios.
Fracción de C en residuos incinerados	Incineración Residuos Hospitalarios	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Fracción de C fósil	Incineración Residuos Hospitalarios	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Fracción de N/C en residuos incinerados	Incineración Residuos Hospitalarios	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)	Observación	
Factor de Oxidación	Incineración Residuos Hospitalarios	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Factor de emisión de metano para la incineración de residuos hospitalarios	Incineración Residuos Hospitalarios	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Factor de emisión de Nitrógeno como N <sub>2</sub> O	Incineración Residuos Hospitalarios	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)
Proteínas consumidas al año	Excretas Humanas	Nacional	FAO	2003	Variación en la cantidad de metano emitido	Información oficial disponible	Mala	Existen pocos datos históricos nacionales.
Fracción de nitrógeno en la proteína	Excretas Humanas	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)



*INFORME FINAL*  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE  
 DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS  
 EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



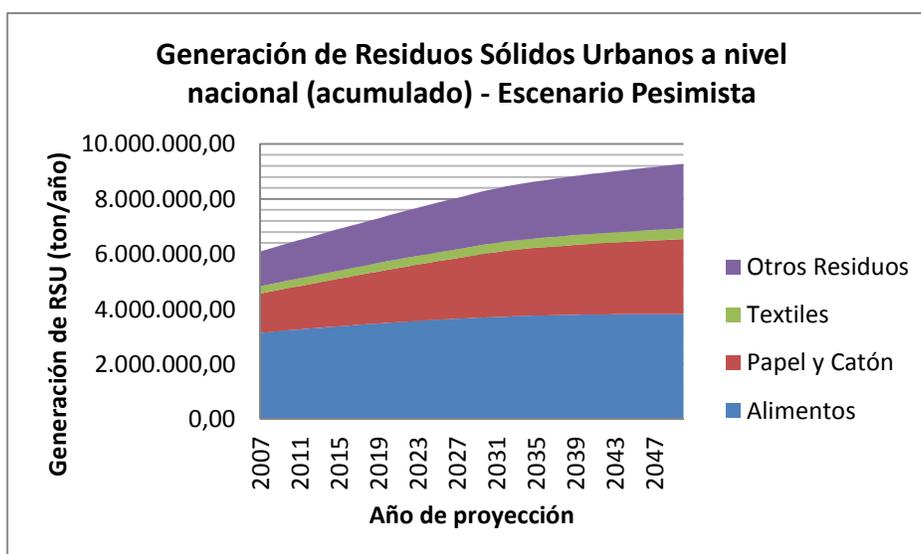
Información	Subsector	Escala	Fuente de información	Año	Uso que se le da en modelo	Calidad (juicio del sector)		Observación
Factor de Emisión de N <sub>2</sub> O en el excremento	Excretas Humanas	Nacional	IPCC	2006	Variación en la cantidad de metano emitido	Valor por defecto	Regular	No existe información real nacional. Es considerado una buena práctica el utilizar valores por defecto (IPCC, 2006)

Fuente: Elaboración propia.

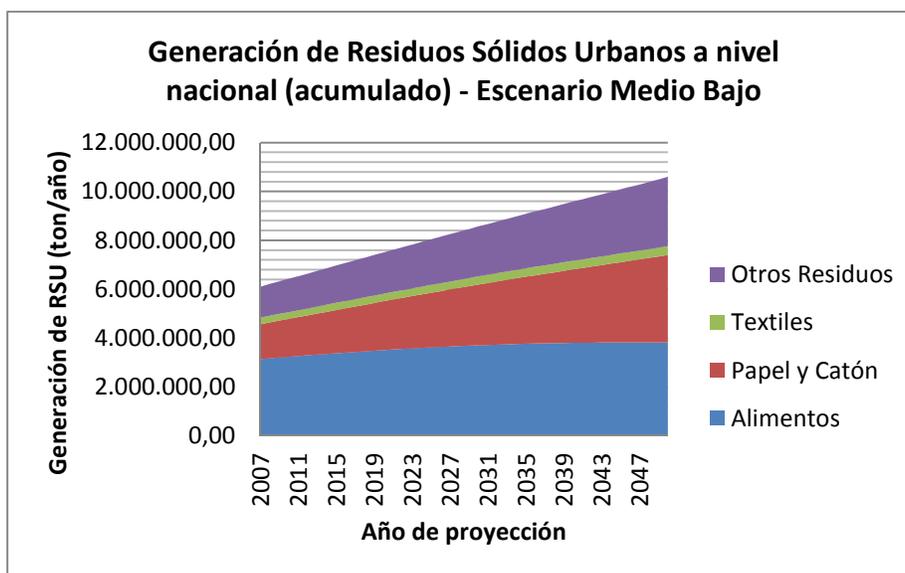
## 12.4 Anexo 4: Gráficos de Interés

### 12.4.1 Residuos Sólidos

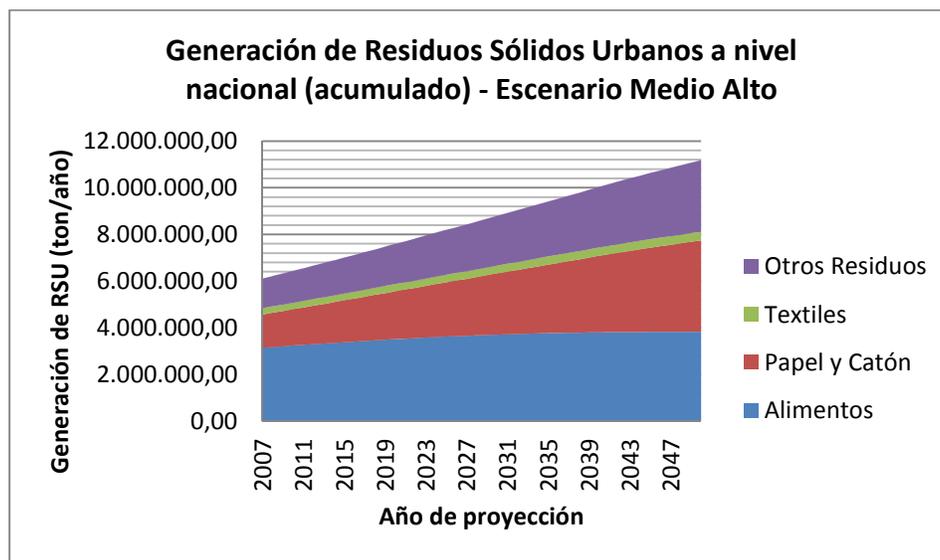
#### 12.4.1.1 Generación de RSU



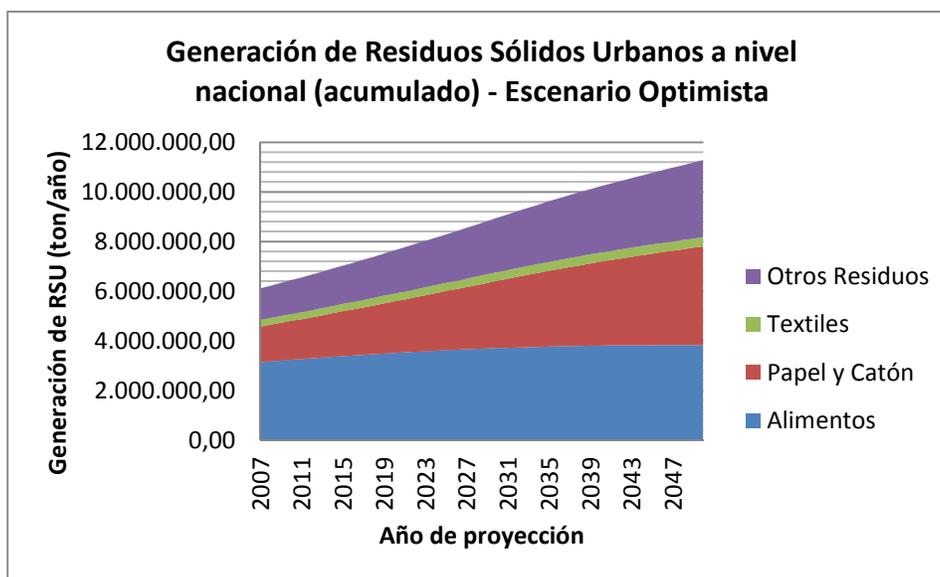
**Gráfico 16. Generación nacional de RSU por tipo de residuo. Escenario Pesimista**



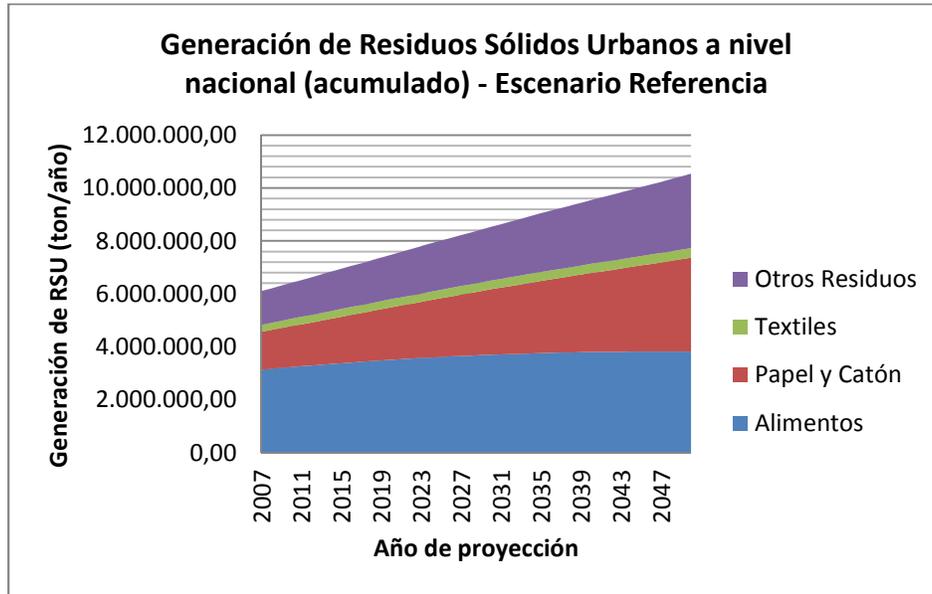
**Gráfico 17. Generación nacional de RSU por tipo de residuo. Escenario Medio Bajo**



**Gráfico 18. Generación nacional de RSU por tipo de residuo. Escenario Medio Alto.**

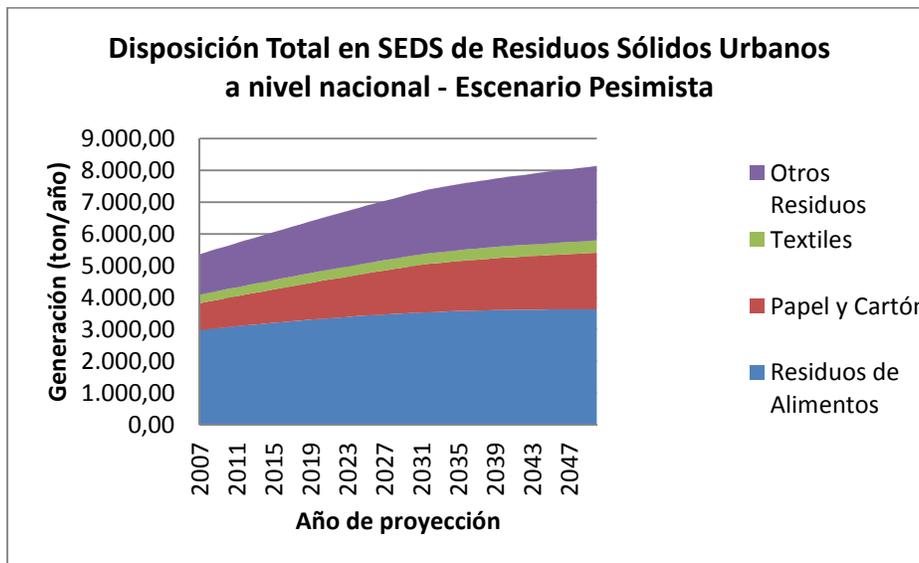


**Gráfico 19. Generación nacional de RSU por tipo de residuo. Escenario Optimista.**

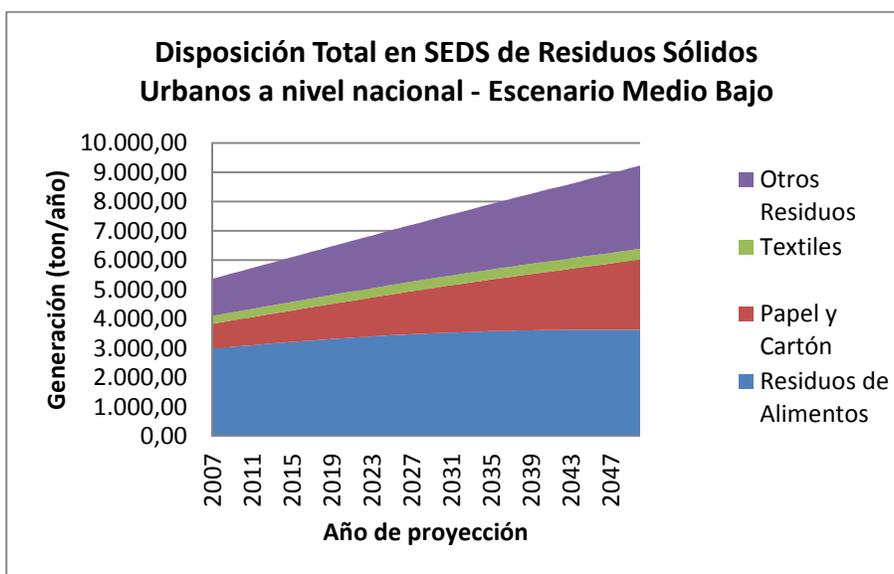


**Gráfico 20. Generación nacional de RSU por tipo de residuo. Escenario de Referencia.**

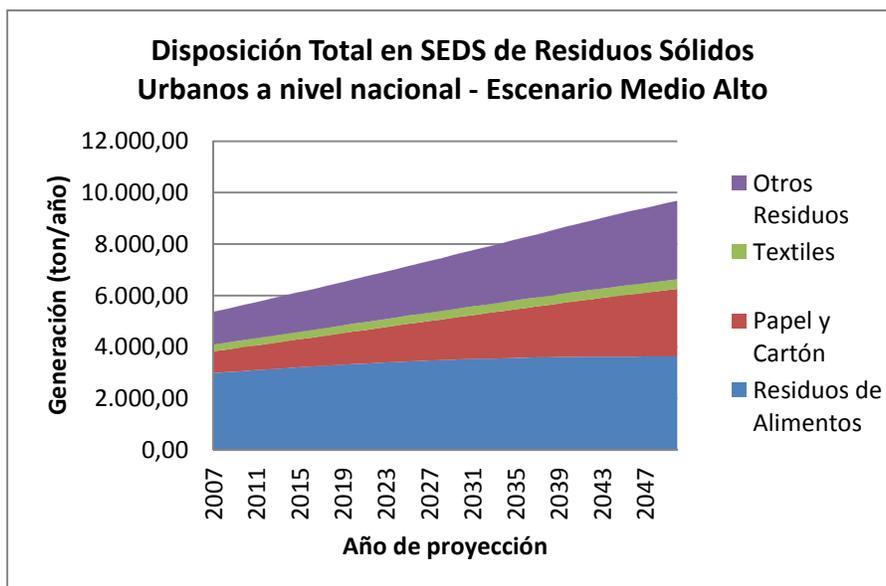
**12.4.1.2 Disposición de RSU en vertederos**



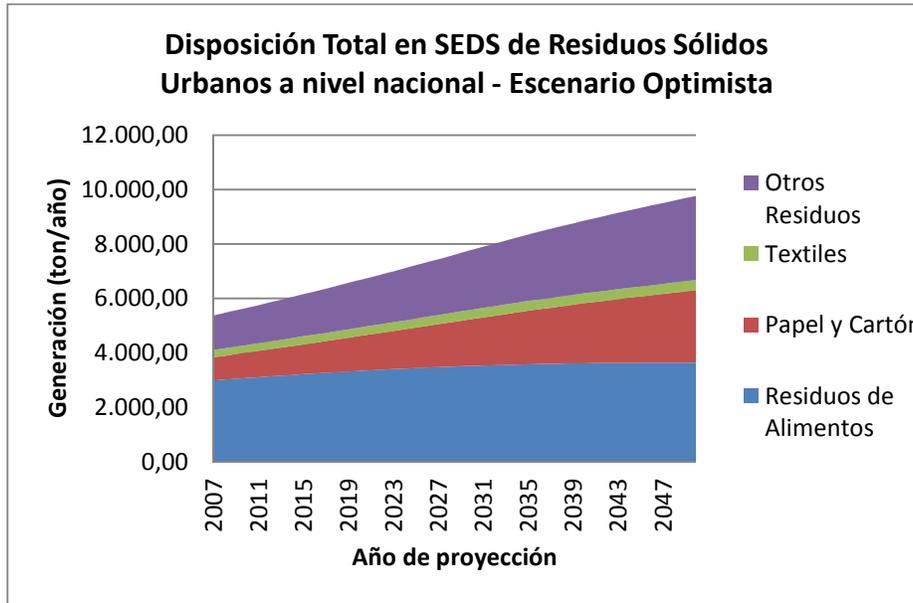
**Gráfico 21. Disposición de RSU por tipo en SEDS. Escenario Pesimista**



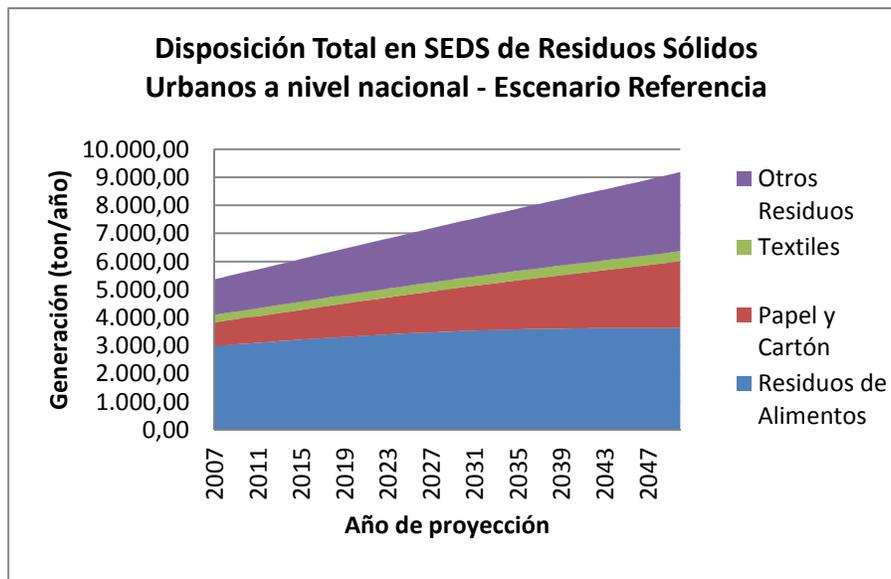
**Gráfico 22. Disposición de RSU por tipo en SEDS. Escenario Medio Bajo**



**Gráfico 23. Disposición de RSU por tipo en SEDS. Escenario Medio Alto**

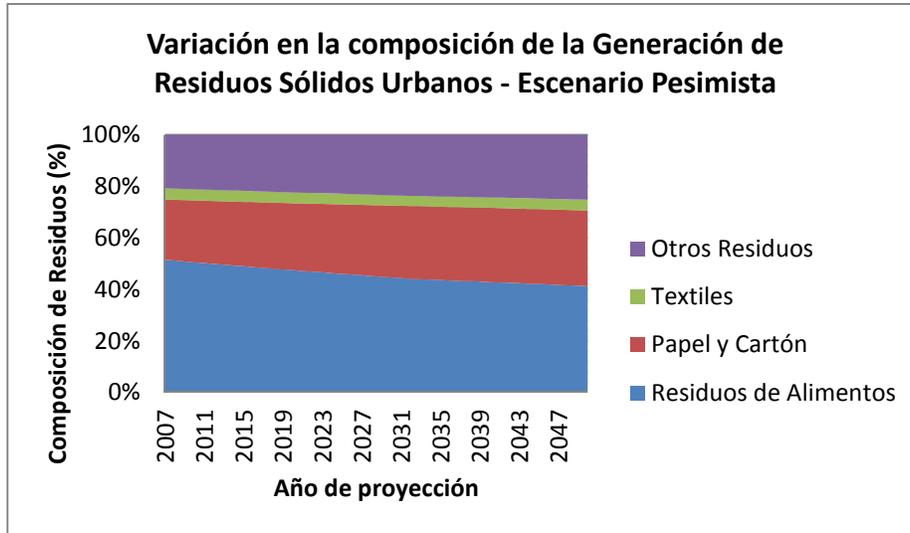


**Gráfico 24. Disposición de RSU por tipo en SEDS. Escenario Optimista**

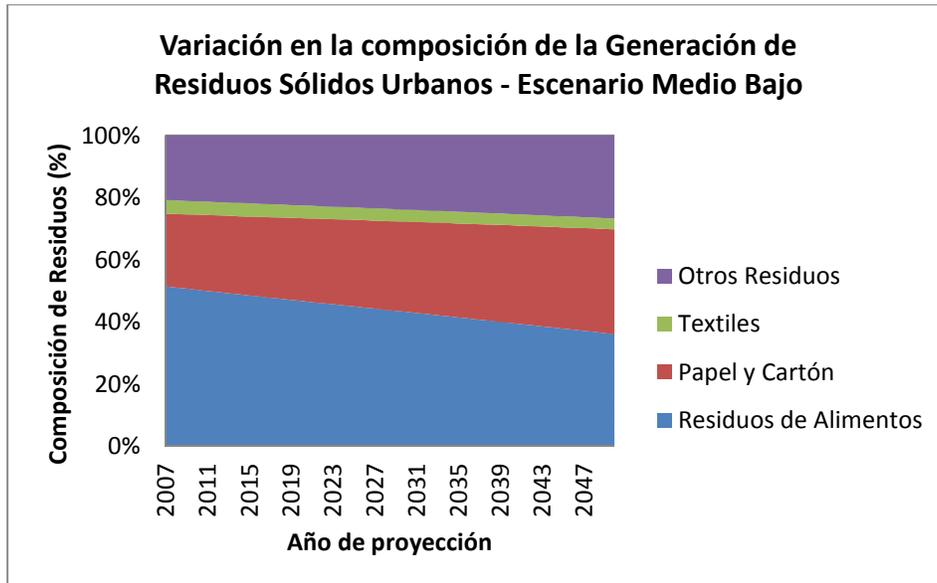


**Gráfico 25. Disposición de RSU por tipo en SEDS. Escenario de Referencia**

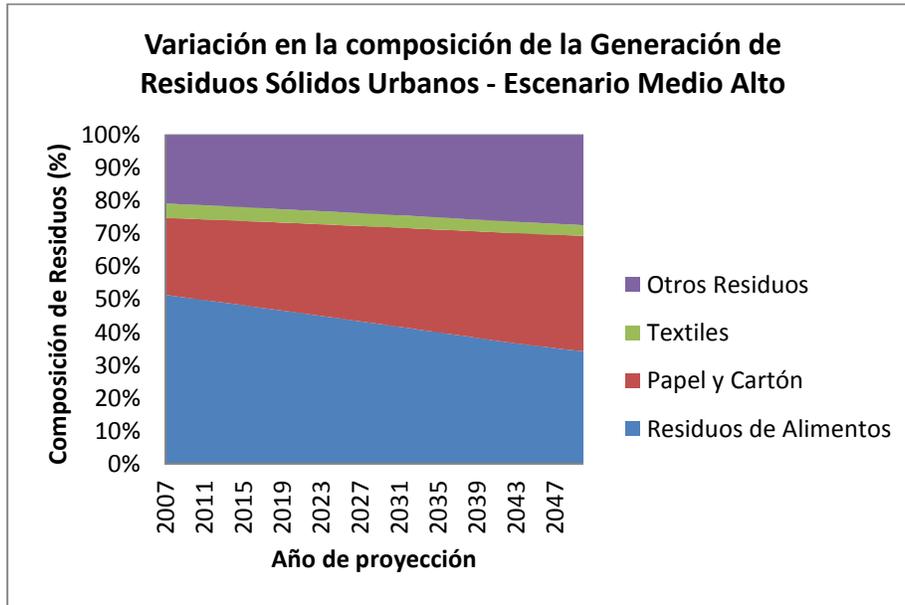
**12.4.1.3 Variación en la composición de los RSU generados**



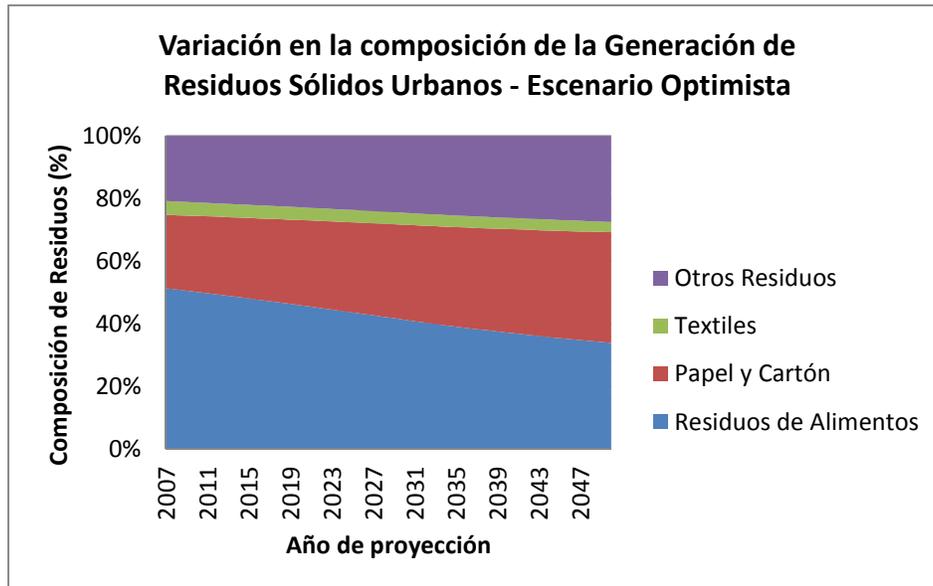
**Gráfico 26. Variación en la composición de RSU generados. Escenario Pesimista**



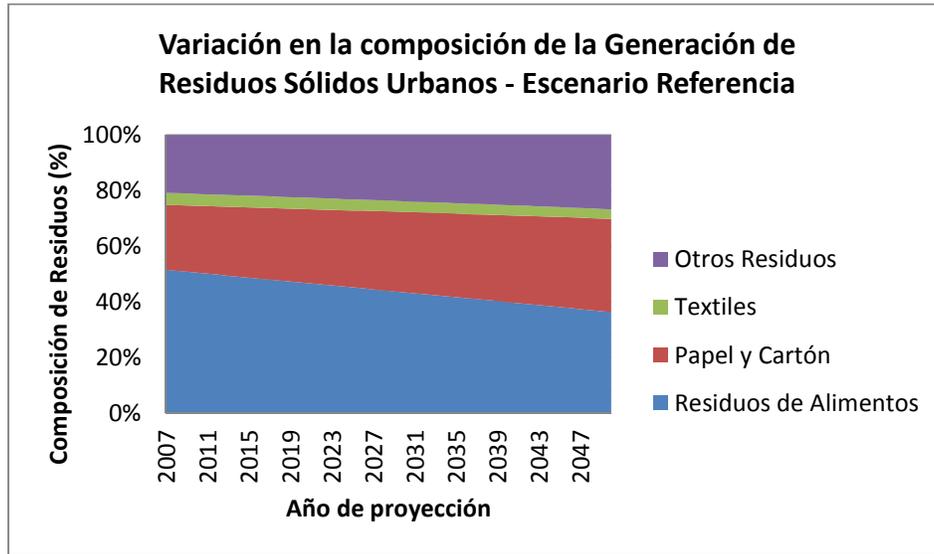
**Gráfico 27. Variación en la composición de RSU generados. Escenario Medio Bajo**



**Gráfico 28. Variación en la composición de RSU generados. Escenario Medio Alto**



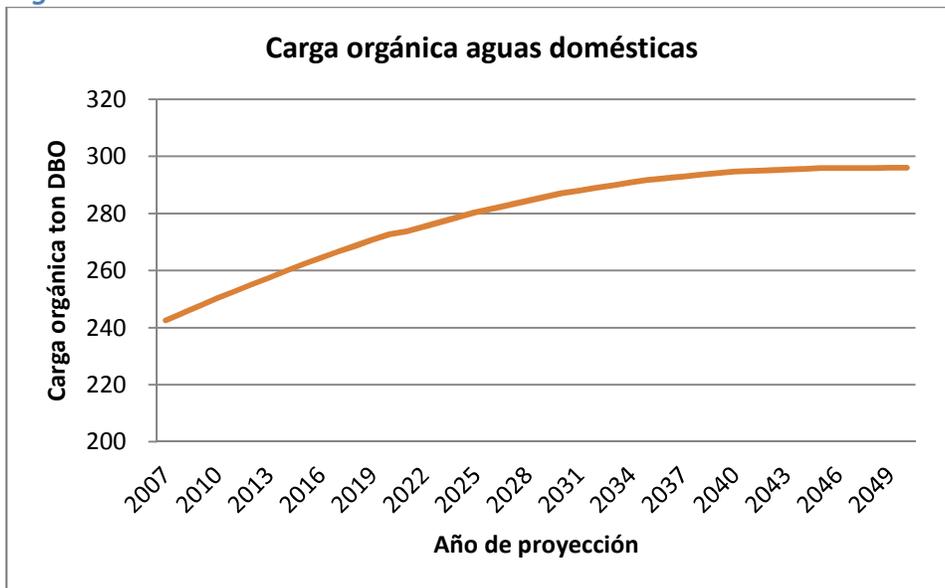
**Gráfico 29. Variación en la composición de RSU generados. Escenario Optimista**



**Gráfico 30. Variación en la composición de RSU generados. Escenario de Referencia**

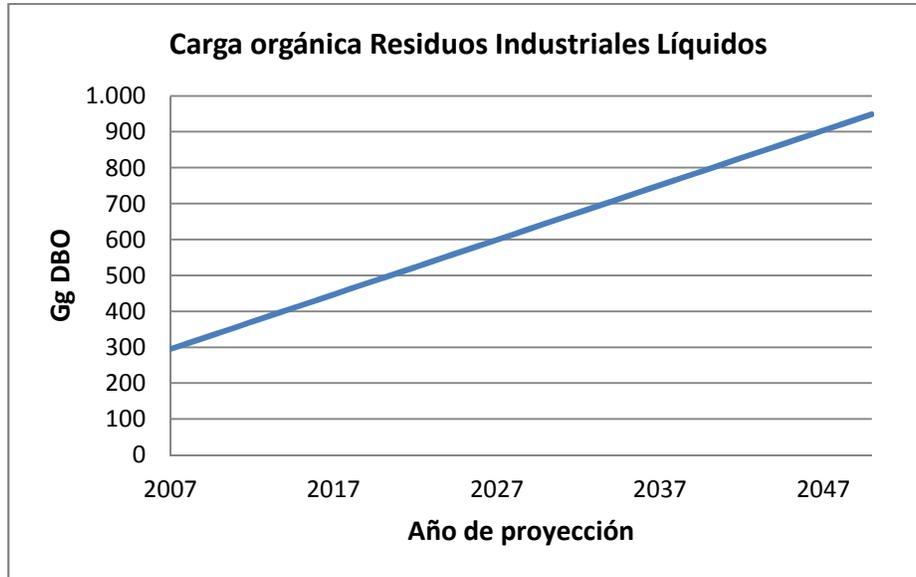
## 12.4.2 Residuos Líquidos

### 12.4.2.1 Aguas residuales domésticas



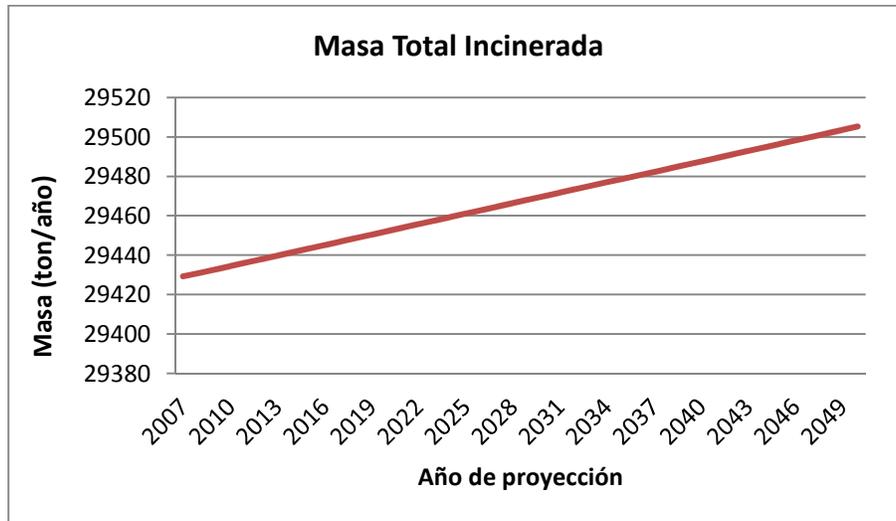
**Gráfico 31. Carga orgánica de aguas domésticas**

### 12.4.2.2 Residuos Líquidos Industriales



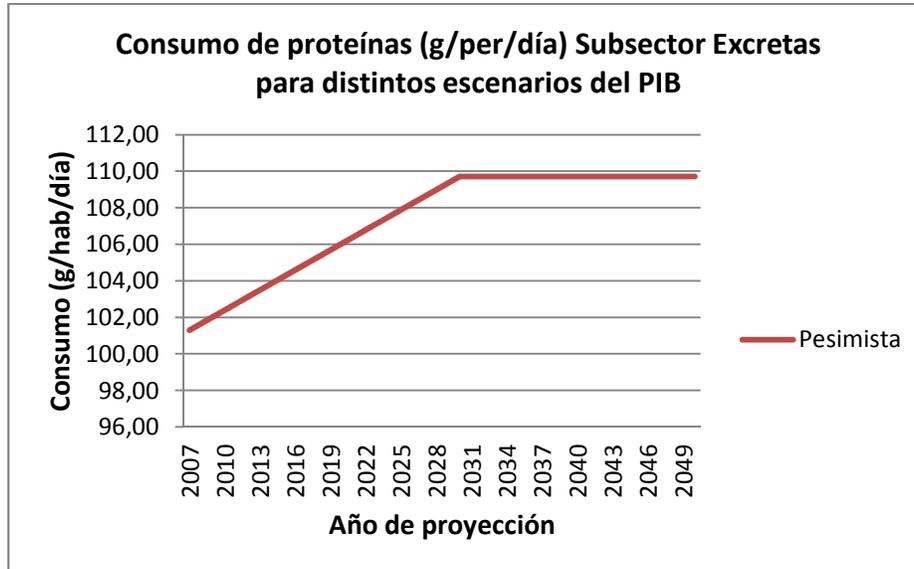
**Gráfico 32. Carga orgánica de RILes**

### 12.4.3 Incineración Hospitalaria



**Gráfico 33. Masa total incinerada**

#### 12.4.4 Excretas Humanas



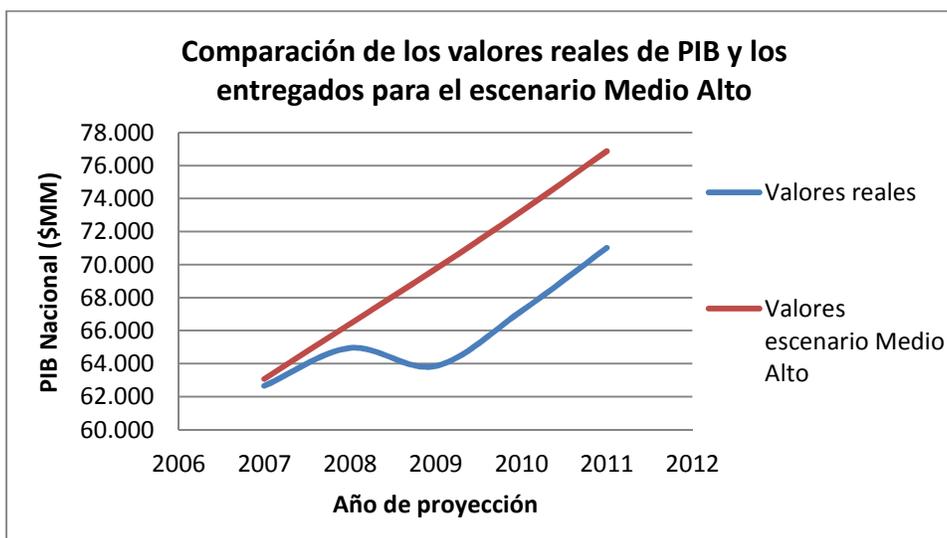
**Gráfico 34. Consumo per cápita de proteínas**

## 12.5 Anexo 5: Comparación de Valores Reales y de escenario Medio Alto

### 12.5.1 PIB

**Cuadro 49. Comparación para valores del PIB real y de escenario Medio Alto**

PIB real a precios constantes 2007-2011 (\$MM)					
PIB a precios constantes	2007	2008	2009	2010	2011
Real	62.646	64.940	63.848	67.167	71.016
Medio Alto	63.065	66.408	69.728	73.214	76.875



**Gráfico 35. Comparación de valores del PIB real y de escenario Medio Alto**

### 12.5.2 Población Nacional

**Cuadro 50. Comparación de valores de población real y de escenario Medio Alto**

Población real 2007-2011 (N° habitantes)					
Población	2007	2008	2009	2010	2011
Real <sup>13</sup>	16.598.074	16.763.470	16.928.873	17.094.275	17.248.450
Medio Alto	16.600.081	16.765.478	16.930.882	17.096.285	17.250.461



**Gráfico 36. Comparación de valores de población real y de escenario Medio Alto**

<sup>13</sup> La población real utilizada en la comparación corresponde a valores provenientes de las proyecciones realizadas por el INE (2008), correspondientes a la última información oficial disponible a la fecha de este estudio.

## 12.6 Anexo 6: Origen de la variable “k” (constante de reacción)

La siguiente ecuación modela la disminución de la cantidad de DOC a medida que éste se va disolviendo a lo largo de los años:

$$x(t) = x_0 e^{-kt}$$

Con  $x_0$  igual a la masa o materia orgánica degradable (DOC) al inicio del horizonte de evaluación,  $k$  una constante y  $t$  el año de evaluación. La siguiente tabla muestra la masa al cabo de 3 años y, por lo tanto, la cantidad disuelta anual (la tabla supone que los desechos son depositados al final de cada año).

**Cuadro 51. Evolución en el tiempo del DOC disuelto en SEDS**

Año	Masa al final de cada año	Cantidad disuelta anual
0	$x_0 e^{-k \cdot 0} = x_0$	$x_0 - x_0 = 0$
1	$x_0 e^{-k}$	$x_0 - x_0 e^{-k}$
2	$x_0 e^{-2k}$	$x_0 e^{-k} - x_0 e^{-2k}$

La constante  $k$  se estima a partir de mediciones empíricas que determinan la cantidad de años que demora la materia orgánica degradable en disminuir su masa a la mitad de valor inicial. De esta forma, para determinar el valor  $k$  se utiliza lo siguiente:

$$\frac{x_0}{2} = x_0 e^{-kt} \rightarrow \frac{1}{2} = e^{-kt} \rightarrow \ln\left(\frac{1}{2}\right) = -kt \rightarrow kt = \ln(2) \rightarrow k = \ln(2)/t$$

Por ejemplo, para  $t$  igual a 23 años se obtiene  $k=0,02$ ; mientras que para  $t$  igual 3 años,  $k$  es igual a 0,03.

Suponiendo que cada año se deposita en los SEDS una masa degradable igual a  $x_0$  para  $t=0$ ,  $x_1$  para  $t=1$ , y así sucesivamente, es posible estimar la cantidad de carbono disuelto por año, como se muestra en el siguiente Cuadro.



**INFORME FINAL**  
**“ASESORIA PARA DETERMINAR EL ESCENARIO DE LINEA BASE**  
**DE EMISIONES DEL SECTOR DE RESIDUOS ANTRÓPICOS**  
**EN EL MARCO DEL PROYECTO MAPS CHILE”**



**Cuadro 52. Resultados para proyección descomposición por años**

Año	0	1	2	3	Total descompuesto en t
0	$x_0 - x_0=0$				0
1	$x_0 - x_0e^{-k}$	$x_1 - x_1=0$			$x_0 - x_0e^{-k} = x_0(1 - e^{-k})$
2	$x_0e^{-k} - x_0e^{-2k}$	$x_1 - x_1e^{-k}$	$x_2 - x_2=0$		$x_0e^{-k} - x_0e^{-2k} + x_1 - x_1e^{-k} = x_0(e^{-k} - e^{-2k}) + x_1(1 - e^{-k})$
3	$x_0e^{-2k} - x_0e^{-3k}$	$x_1e^{-k} - x_1e^{-2k}$	$x_2 - x_2e^{-k}$	$x_3 - x_3=0$	$x_0e^{-2k} - x_0e^{-3k} + x_1e^{-k} - x_1e^{-2k} + x_2 - x_2e^{-k}$ $= x_0(e^{-2k} - e^{-3k}) + x_1(e^{-k} - e^{-2k}) + x_2(1 - e^{-k})$

## 12.7 Anexo 7: Proyección de PPC total para RM y otras regiones

**Cuadro 53. Proyección de PPC – Escenario de Referencia**

<b>Generación per cápita de Residuos Totales (kg/hab/día) - Referencia</b>		
<b>Año de proyección</b>	<b>RM</b>	<b>Otras Reg</b>
2007	1,333	0,788
2008	1,342	0,795
2009	1,349	0,801
2010	1,356	0,808
2011	1,363	0,815
2012	1,371	0,822
2013	1,379	0,829
2014	1,387	0,836
2015	1,395	0,844
2016	1,403	0,852
2017	1,412	0,860
2018	1,420	0,868
2019	1,428	0,876
2020	1,436	0,884
2021	1,444	0,893
2022	1,452	0,902
2023	1,461	0,910
2024	1,469	0,919
2025	1,477	0,928
2026	1,485	0,938
2027	1,493	0,947
2028	1,502	0,957
2029	1,510	0,967
2030	1,519	0,978
2031	1,527	0,988
2032	1,536	0,999

**Generación per cápita de Residuos  
 Totales (kg/hab/día) - Referencia**

<b>Año de proyección</b>	<b>RM</b>	<b>Otras Reg</b>
2033	1,544	1,010
2034	1,553	1,021
2035	1,562	1,033
2036	1,570	1,044
2037	1,579	1,057
2038	1,588	1,069
2039	1,597	1,082
2040	1,607	1,095
2041	1,616	1,108
2042	1,625	1,122
2043	1,634	1,136
2044	1,644	1,151
2045	1,653	1,166
2046	1,663	1,181
2047	1,672	1,197
2048	1,682	1,213
2049	1,692	1,230
2050	1,701	1,247

Fuente: Elaboración propia