

FCEfyN



Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
Universidad Nacional de Córdoba

PROYECTO INTEGRADOR
INGENIERÍA INDUSTRIAL

BUENAS PRACTICAS DE GESTIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE R.S.U. EN LA PROVINCIA DE CORDOBA

AUTOR:
SANTIAGO MOYANO

TUTOR:
Dr. Ing. MARCOS MONTORO

Córdoba, Julio 2016

DEDICATORIA

Este trabajo representa para mí el cumplimiento de un sueño, quizás el más difícil de concretar... convertirme en profesional.

Extiendo un profundo reconocimiento a mi director de trabajo final, el Dr. Ing. Marcos Montoro; de no haber contado en todo momento con su paciencia, dedicación y entrega, no hubiese podido realizar este trabajo.

El mayor de los agradecimientos es hacia mi hermosa familia; quienes jamás dejaron de confiar ni un minuto en mí, brindándome un apoyo incondicional, y a través de su ejemplo, han alimentado cada día en mí el valor de la libertad de ser y pensar por uno mismo. A mi madre Patricia por ser el máximo sostén de mi vida y referente de que las cosas buenas, sólo se consiguen trabajo duro, todos los días; a mi padre Daniel, en quien me identifico en todo; atesoro todas y cada una de nuestras charlas.

A mis hermanos, Victoria y Tomás, en cuyos ojos me hallo todos los días. A mis abuelos, Hugo y Beba que tanto los amo. A Paco y Juana.

Muchas gracias...

INDICE

RESUMEN	7
ABSTRACT	7
CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	8
1.2 – OBJETIVO GENERAL	9
1.3 - OBJETIVOS PARTICULARES	9
1.4 – ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	9
CAPITULO 2: GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	10
2.1 - INTRODUCCIÓN:	10
2.2 - RESIDUOS	10
2.2.1 - CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS	10
2.2.1.1 - SEGÚN SU ORIGEN:	10
2.2.1.2 - CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MANEJO	11
2.2.2 - RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	12
2.3 - GESTIÓN DE RSU	14
2.4 - JERARQUIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS	16
2.4.1 - ASPECTOS MÁS RELEVANTES DEL ESQUEMA DE JERARQUIZACIÓN	16
2.5 - DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS EN LA GIRSU	17
2.6 - PROPIEDADES DE LOS RSU.	20
2.6.1 - PROPIEDADES FÍSICAS:	20
2.6.2 - PROPIEDADES QUÍMICAS:	20
2.6.3 - PROPIEDADES BIOLÓGICAS	21
2.7 - TRATAMIENTO DE LOS RSU	21
2.7.1 - LIXIVIADO	24
2.8 - IMPACTOS DE LA GIRSU	25
2.8.1 - EN LA SALUD PÚBLICA	25
2.8.1.1 - RIESGOS DIRECTOS	25
2.8.1.2 - RIESGOS INDIRECTOS	26
2.8.2 - EN EL AMBIENTE	26
2.8.2.1 - CONTAMINACIÓN DEL AGUA	27
2.8.2.2 - CONTAMINACIÓN DEL SUELO	27
2.8.2.3 - CONTAMINACIÓN DEL AIRE	27
2.8.2.4 - ALTERACIÓN DEL EFECTO INVERNADERO	27
2.8.3 - EN LA ECONOMIA	27

2.8.4 - EN EL DESARROLLO URBANO	28
2.9 - EFECTO INVERNADERO	28
2.9.1 - BALANCE ENERGÉTICO DE LA TIERRA	29
2.9.2 - ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE LUZ INFRARROJA DE GEI	29
2.9.2.1 - FUENTES DE EMISIÓN DE METANO CH ₄	33
2.9.3 - INVENTARIO DE GEI	33
2.9.4 - DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE (CO _{2equiv})	34
2.9.5 - CONTENIDO ATMOSFÉRICO DE CO ₂	35
2.10 - SINTESIS Y CONCLUSIONES	38

CAPITULO 3: GASES DERIVADOS DE RSU 39

3.1 - INTRODUCCION	39
3.2 - DEFINICIÓN DEL BIOGAS	39
3.3 - COMPOSICIÓN	39
3.4 - GENERACIÓN DE BIOGAS.	40
3.4.1 - FACTORES DE GENERACIÓN DE BIOGAS	41
3.4.1.1 - FACTORES INTERNOS (PROPIOS DE LOS RSU Y SU DISPOSICIÓN)	41
3.4.1.2 - FACTORES EXTERNOS (PROPIOS DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL)	41
3.5 - EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RSU	43
3.6 - PROPIEDADES DEL BIOGAS	46
3.6.1 - EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS DEL BIOGÁS.	48
3.6.2 - PROYECCIÓN DE EMISIONES	49
3.7 - TÉCNICAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS	50
3.7.1 - ASPECTOS TECNOLÓGICOS	51
3.7.2 - ENRIQUECIMIENTO DE OXÍGENO CON TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS	52
3.7.3 - ENRIQUECIMIENTO DE METANO CON TECNOLOGÍA DE MEMBRANA	52
3.8 - BIODIGESTORES	52
3.8.1 - CLASIFICACIÓN DE BIODIGESTORES	54
3.8.2 - EFICIENCIA DE LA FERMENTACIÓN EN BIODIGESTORES	54
3.8.3 - BIOGÁS DE DIGESTORES	56
3.8.4 - IMPACTO AMBIENTAL DEL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS DE VERTEDERO	56
3.9 - ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PROCEDENTE DE RELLENOS SANITARIOS	58
3.9.1 - PERDIDAS EN SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE BIOGAS	59
3.10 - APROVECHAMIENTO O QUEMA DEL BIOGÁS EN RELLENOS SANITARIOS	61
3.11 - EXPERIENCIAS SOBRE EL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS.	61
3.11.1 - DIVERSAS APLICACIONES DEL BIOGÁS EN ARGENTINA	61
3.11.2 - CENTRAL BUEN AYRE	62
3.11.3 - APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN RELLENOS SANITARIOS EN FRANCIA	63
3.12 - SINTESIS Y CONCLUSIONES	64

CAPITULO 4: MARCO LEGAL **65**

4.1 - INTRODUCCIÓN	65
4.2 - CONTEXTO INTERNACIONAL	65
4.2.1 - PROTOCOLO DE KIOTO	65
4.2.1.2 - CONNOTACIONES JURÍDICAS PARA LA ARGENTINA	66
4.2.1.3 - MECANISMOS DE FLEXIBILIDAD	67
4.2.1.4 - MECANISMO DE APLICACIÓN O CUMPLIMIENTO CONJUNTO (AC)	68
4.2.1.5 - MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)	68
4.2.1.6 - EL MERCADO DE LOS DERECHOS DE EMISIÓN (DDEE) – “BONOS DE CARBONO”	69
4.2.1.7 - EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA	70
4.3 - CONTEXTO NACIONAL RELATIVO A LA GIRSU	71
4.3.1 - GENERALIDADES	71
4.3.2 - LA ESTRATEGIA NACIONAL DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (ENGIRSU)	72
4.3.3 - NORMATIVA REFERIDA A ENERGIA ELECTRICA	73
4.4 - CONTEXTO PROVINCIAL	73
4.4.1 - CONSTITUCIÓN DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA	73
4.4.2 - LEY N° 10208 - POLÍTICA AMBIENTAL PROVINCIAL DE CÓRDOBA	74
4.4.2.1 - EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA	75
4.5 - NORMATIVA REFERIDA AL IMPACTO AMBIENTAL	77
4.6 - SÍNTESIS Y CONCLUSIONES:	77

CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA **78**

5.1 - INTRODUCCIÓN	78
5.2.1 - DESCRIPCIÓN DEL MODELO	78
5.3 - UTILIZACIÓN DEL MODELO	79
CAPACIDAD DEL RELLENO	80
5.4 - DETERMINACIÓN DE VALORES A UTILIZAR EN LANDGEM	83
5.4.1 - VERTEDEROS A CONSIDERAR: DIVISIÓN DEL TERRITORIO PROVINCIAL EN REGIONES	83
5.4.2 - DISEÑO DE VERTEDERO CONTROLADO	86
5.4.3 - OPERACIÓN DEL VERTEDERO	87
5.4.4 - DETERMINACIÓN DE LOS VERTEDEROS SUJETOS DE ESTUDIO EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA	88
5.4.5 - CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS - TASA DE CRECIMIENTO GEOMÉTRICO	89
5.7.5 - TASAS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA	90
5.7.6 - COMPOSICIÓN DE RESIDUOS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA	90
5.7.7 - ESTIMACIÓN DE LOS PARAMETROS TASA DE GENERACIÓN “k” Y POTENCIAL DE GENERACIÓN “L ₀ ”	90
5.8 – PLAN DE RECUPERACIÓN DE RSU	90
5.9 - DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE CAPTURA Y COLECCIÓN DE GASES.	91
5.9.1 - SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE BIOGÁS.	91
5.9.1.1 - MÉTODOS DE COLECCIÓN.	91
5.9.1.2 - TRATAMIENTO DEL GAS	92

5.10 - DETERMINACIÓN DE LA LINEA BASE _____	93
5.11 METODO DE ANALISIS ECONOMICO _____	94
5.12 - SINTESIS Y CONCLUSIONES _____	94

CAPÍTULO 6: RESIDUOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA **95**

6.1 - INTRODUCCIÓN _____	95
6.2 - CARACTERISTICAS Y PROYECCIONES DEMOGRÁFICAS _____	95
6.2.1 - TASA DE CRECIMIENTO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA _____	95
6.2.2 - GENERACIÓN DE RSU _____	98
6.2.3 - COMPOSICIÓN DE LOS RSU _____	100
6.3 - DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA PROVINCIAL _____	101
6.3.1 - MEDIAS ANUALES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN CÓRDOBA _____	101
6.4 - DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DEL MODELO DE ESTIMACIÓN “L ₀ ” Y “k”. _____	103
6.4.1 - PLAN DE RECUPERACIÓN _____	108
6.5 – SINTESIS Y COCLUSIONES _____	110

CAPITULO 7: ESTIMACIONES DE LA GENERACIÓN POTENCIAL DE BIOGÁS EN CÓRDOBA **111**

7.1 - INTRODUCCIÓN _____	111
7.3 - RESULTADOS DE ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN DE METANO (CH ₄) _____	112
7.3.1 - PRODUCCIÓN MARGINAL DE METANO “j” _____	115
7.4 - RESULTADOS DE ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN DE CARBONO EQUIVALENTE _____	115
7.4.1 - PRODUCCION MARGINAL DE CARBONO EQUIVALENTE “l” _____	119
7.6 - DISPOSICIÓN FINAL _____	121
7.7 - CONCLUSIONES _____	122

CAPITULO 8: ANALISIS ECONOMICO **123**

8.1 - INTRODUCCIÓN _____	123
8.2 - INGRESOS DEL PROYECTO _____	123
8.2.1 - INGRESOS POR BONOS DE CARBONO _____	123
8.2.1.1 - EVOLUCIÓN DEL VALOR DE LOS BONOS DE CARBONO _____	123
8.2.1.2 PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO DE REDUCCIONES POR TIPO DE PROYECTO _____	125
8.2.2 - INGRESOS POR VENTA DE MW _____	125
8.2.2.1 - COTIZACIÓN DEL MW/h ACTUAL EN ARGENTINA _____	125
8.2.2.2 - LA CENTRAL BUEN AYRE _____	126
8.2.2.3 - ANÁLISIS ECONÓMICO POR EL ING. JOAQUIN GONZALEZ _____	126
8.2.2.4 - VALOR DE MW/hr PARA ESTE ESTUDIO _____	126
8.2.3 - INGRESOS POR VENTA DE FRACCIONES RECUPERADAS _____	126
8.3 - EGRESOS DEL PROYECTO _____	128

8.3.1 - INSTALACIONES DE CAPTURA Y TRANSFORMACIÓN	128
8.3.3 - GASTOS OPERATIVOS	129
8.4 - EVALUACION ECONOMICA	130
8.3.1 RESUMEN DE SUPOSICIONES	130
8.3.2 PRIMA DE RIESGO DEL MERCADO (WACC)	130
8.3.3 – FLUJO DE FONDOS PROYECTADO	130
8.5 - CONCLUSIONES - ANALISIS DE RESULTADOS	137
8.6 - ANALISIS DE VARIACIONES FINANCIERAS DEL PROYECTO	138
8.6.1 – DESCRIPCIÓN	138
8.6.2 VARIACIÓN DE LA TASA INTERNACIONAL (BID)	138
8.6.3 – VARIACIÓN EN EL TIEMPO DE ALCANCE DE ESTADO DE RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO	139
8.6.4 – CONSIDERACIONES ADICIONALES	141

CAPITULO 9: CONCLUSIONES GENERALES **142**

9.1 - OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO:	142
9.1.2 – OBJETIVOS PARTICUARES	142

BIBLIOGRAFÍA **144**

PAGINAS WEB CONSULTADAS	145
ANEXO 1 - TABLA COMPLETA DE TASA DE CRECIMIENTO DEMOGRAFICO (2016/2030) (CAP 6)	146
ANEXO 1 - TABLA COMPLETA DE TASA DE CRECIMIENTO DEMOGRAFICO (2030/2045) (CAP 6)	147
ANEXO 2 - TABLA COMPLETA DE TASA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS (2016/2030) (CAP 6)	148
ANEXO 2 - TABLA COMPLETA DE TASA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS (2030/2045) (CAP 6)	149
ANEXO 3 – PLAN DE RECUPERACIÓN DE FRACCIONES INORGANICAS – CASOS IV (CAP 6)	150
ANEXO 3 – PLAN DE RECUPERACIÓN DE FRACCIONES INORGANICAS – CASO V (CAP 6)	151
ANEXO 3 – PLAN DE RECUPERACIÓN DE FRACCIONES INORGANICAS – CASO VI (CAP 6)	152
ANEXO 4 – PRODUCCIÓN DE METANO PROMEDIO POR REGIÓN LIMPIA	153
ANEXO 5 - CAPACIDAD ENERGÉTICA DE CADA REGIÓN LIMPIA	153
	153

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo consiste en efectuar un diagnóstico del estado de situación y análisis de alternativas de gestión de residuos para la captación y tratamiento de biogás en toda la Provincia de Córdoba.

En este informe se desarrollan distintos escenarios de generación de residuos en donde se analiza la producción y tratamiento del biogás generado por la descomposición de los mismos en los rellenos sanitarios y sus costos asociados en un horizonte temporal de 30 años.

Por medio del estudio de la variación en la composición de los residuos sólidos urbanos y de la implementación de planes de gestión de recuperación de fracciones inorgánicas previas al vertido con diferentes objetivos temporales, se determinan seis escenarios posibles de gestión.

Se estima la cantidad de biogás que se puede generar en la Provincia de Córdoba utilizando el modelo LandGEM desarrollado por la agencia ambiental de Estados Unidos. Para ello se analizan los datos censales de población de la Provincia de Córdoba, se determina una tasa de crecimiento demográfico, se analizan relevamientos sobre cantidad de residuos dispuestos en enterramientos sanitarios en la provincia, se determina la tasa de generación de residuos de cada región y se proyecta la cantidad de residuo a generarse en el horizonte temporal del proyecto planteado..

Finalmente se presenta un análisis de los beneficios económicos que devienen de la participación en el mercado internacional de “Reducciones de Emisiones de Carbono” (CER’s) y de la transformación energética del combustible como aporte a la red de distribución eléctrica provincial.

ABSTRACT

The main objective of this research is to prepare a first diagnosis of the waste management system status and to analyze alternatives for biogas collection and treatment in landfills of Cordoba Province, Argentina.

Potential landfill gas production is computed by applying LandGEM model. This model was developed by the U.S. Environmental Protection Agency. To project landfill gas generation potential, it was necessary to analyze Cordoba province population, its distribution and the population estimated growth rate. Also it was necessary to determine estimated waste generation and generation rate in the horizon of this project (30 years).

Six different scenarios were analyzed considering different objectives for the waste management plan and considering variability in waste composition.

Finally it is presented the main conclusions obtained after performing an economic and financial analysis of the project considering incomes from Carbon reduction emissions sales and incomes from power generation.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

Es sabido que el manejo de los residuos se ha transformado en uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrentan las ciudades, ya que la generación de residuos sólidos urbanos evoluciona conjuntamente con la urbanización y la industrialización. A pesar de ello, no ha existido hasta el presente a nivel Provincial, un plan sistemático, coherente y lo suficientemente abarcativo que brinde soluciones efectivas sin las improvisaciones del hecho consumado.

El crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico de las poblaciones y el cambio en las estrategias de comercialización de los productos de consumo masivo –con sus problemáticas consecuentes- ha sido más rápido que la capacidad de previsión y acción por parte de los organismos intervinientes en el tema de los residuos sólidos urbanos.

La situación actual de la Provincia de Córdoba tiene como características principales, por un lado la concentración de la población urbana en espacios reducidos de uso residencial y de puntos de actividad económica productiva de bienes y servicios; por otro, la cantidad y calidad de los materiales de desecho, cada vez más abundante, diversa y compleja.

No obstante, el panorama abre una expectativa cierta de mejoramiento. Por una parte, la conciencia de autoridades y comunidad acerca de la magnitud del problema, y por otro lado la decisión de encarar un programa de gestión con los instrumentos adecuados.

Cada vez existe una mayor conciencia de que el medio no puede recibir residuos sin un adecuado sistema de tratamiento y disposición final. Esta diferencia respecto del pasado opera como principal elemento en la búsqueda y diseño de una solución adecuada y sustentable.

La escasez de recursos, las carencias institucionales y legislativas y otras consideraciones de gobernanza medioambiental hacen que, en la mayoría de los casos, los residuos sólidos urbanos se arrojen en basureros o vertederos controlados que incumplen las normas técnicas mínimas, y no en vertederos sanitarios. En su mayor parte, los vertederos controlados carecen de un sistema de gestión de emisiones de biogás.

El biogás generado en esas instalaciones está compuesto en alrededor de un 50% por metano (CH_4), un gas cuyo efecto invernadero es 23 veces superior por tonelada al del dióxido de carbono (CO_2). A nivel global, las emisiones de CH_4 producen aproximadamente el 14% del efecto invernadero total y provienen en un 10% de vertederos. Así pues, cerca del 1,4% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero se origina en vertederos.

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) está desarrollando una Estrategia de Cambio Climático orientada prioritariamente a sectores que contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero, para los cuales el Banco promulgó prácticas recomendadas favorables al uso de tecnologías apropiadas que permitan reducir esas emisiones. Un subsector seleccionado dentro de dicha estrategia es la gestión de residuos sólidos y, en particular, los vertederos.

En el marco de estas directrices, el BID establece normas innovadoras para financiar proyectos de construcción de vertederos, al requerir la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la captación y destrucción de biogás. Con arreglo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), una planta de biogás puede cumplir los requisitos para considerarse como un proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), generando ingresos por medio de reducciones certificadas de emisiones. Esto ha hecho que la construcción de plantas de biogás con sistemas de quema controlada sea viable en términos económicos. En muchos casos, los ingresos adicionales producidos por la venta de energía también han dado viabilidad económica a la instalación de plantas de generación de energía a partir de biogás.

Respecto de esto, es menester considerar el desarrollo de propuestas en base al progreso efectuado en la etapa de diagnóstico y al análisis de las alternativas de sistemas para la gestión integral de los RSU.

De lo expuesto, se desprenden a continuación los objetivos generales y particulares de este proyecto:

1.2 – OBJETIVO GENERAL

El presente trabajo tiene por finalidad investigar el comportamiento a largo plazo de distintos casos de gestión de gases de efecto invernadero derivados de la descomposición de residuos, factibles de aplicación en la Provincia de Córdoba, procurando la identificación de la oportunidad de mejora tanto del actual sistema integral de residuos sólidos de la provincia, como así también de la infraestructura energética de la misma.

1.3 - OBJETIVOS PARTICULARES

-) Analizar los sistemas de gestión integral de residuos; las características y propiedades de los residuos de la Provincia de Córdoba y determinar su relación o impacto en los distintos niveles de actuación.
-) Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero durante los próximos 30 años derivados de la descomposición de residuos sólidos urbanos en la Provincia de Córdoba.
-) .Analizar el marco legal internacional, nacional y provincial vinculado a la gestión de residuos sólidos urbanos y a la polución de gases derivados del manejo de los mismos.
-) Teniendo en cuenta los antecedentes nacionales e internacionales en la gestión de Gases de RSU, proponer distintos estados o escenarios viables de ejecución para la Provincia de Córdoba.
-) Analizar la viabilidad económica/financiera de cada caso planteado definiendo sistemas de financiamiento

1.4 – ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El trabajo se organiza en 9 capítulos.

El capítulo 2, describe las características mas relevantes de un sistema de gestión de residuos. Introduce el concepto de gestión integral y se definen los impactos de la misma. Se expone además el impacto sobre el efecto invernadero.

El capítulo 3, describe las propiedades y características del biogás de vertederos, exponiendo tecnologías de tratamiento y aprovechamiento. Se muestran los casos de aplicación a nivel internacional.

El capítulo 4, resume las reglamentaciones internacionales, el marco legal nacional y provincial. Se enfoca en las normativas referidas al impacto de la pulución de biogases y los mecanismos jurídicos aplicables.

El capítulo 5, describe la metodología empleada para la estimación de producción de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición de la fracción orgánica de los RSU. Consecuentemente se define y describe el modelo de estimación de biogases seleccionado para el proyecto.

El capítulo 6, se exponen las características propias de la Provincia de Córdoba en lo referente a los datos necesarios para realizar las estimaciones de crecimiento demográfico, cantidades de RSU a depositar y cantidades de biogases a producirse en los próximos 30 años.

El capítulo 7, se muestran los resultados de las estimaciones planteadas y se definen los parámetro de análisis comparativos.

El capítulo 8, se realiza un análisis financiero de acuerdo a las implicaciones económicas que se derivan de los distintos casos de estudio, habiendo previamente definido ciertos supuestos de financiación del proyecto. Obteniendo como resultado una herramienta cuantitativa de comparación entre los casos planteados.

El capítulo 9, plantea las conclusiones generales y particulares a los objetivos planteados para este proyecto. Se resumen además las recomendaciones de acuerdo a lo desarrollado en el proyecto en lo que refiere a la Gestión de RSU.

CAPITULO 2: GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (GIRSU)

2.1 - INTRODUCCIÓN:

La Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU) es el término que engloba todas las actividades asociadas con el manejo de los residuos dentro de la sociedad. En este capítulo se presenta una descripción de los diferentes procesos relacionados con la GIRSU, como también las propiedades y composición de los residuos sólidos urbanos, y las consecuencias de su gestión.

Para comprender la problemática que plantea este proyecto debemos destacar también, cómo afectan las emisiones de gases derivados del tratamiento y descomposición de los RSU y su gestión a la capa de ozono (entre los demás impactos), estudiando tanto la estructura y las características dinámicas de la atmósfera y el efecto invernadero (EI).

2.2 - RESIDUOS

El término residuo proviene del latín **residuum**: “parte que queda de un todo, o bien lo que resulta de la descomposición o destrucción de una cosa”.

Los residuos se han definido de múltiples maneras:

Desde un punto de vista económico: son todos los materiales generados por las actividades de producción y consumo que no alcanzan ningún valor económico y son desechados, es decir, retirados del ciclo productivo.

Desde el punto de vista ecológico: son el conjunto de materiales o formas de energía descargados al medio ambiente por el hombre, y susceptibles de producir contaminación (impacto ambiental).

Fuente: Ballesteros, Jesus, “Sociedad y medio ambiente”. Editorial Trotta, S.A., 1997

2.2.1 - CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

Los residuos pueden clasificarse en formas muy diversas dependiendo del uso que vaya a darse a dicha información. Por esta razón, la clasificación de los residuos puede resultar una confusa y/o ambigua si no se cuenta con un objetivo claro del uso que se le vaya a dar a dicha información. Por esta razón se seleccionan y describen las clasificaciones más relevantes y consecuentes con este proyecto.

2.2.1.1 - SEGÚN SU ORIGEN:

- J **Residuo Sólido Comercial:** residuo generado en establecimientos comerciales y mercantiles, tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado.
- J **Residuo Sólido Domiciliario:** residuo que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento similar.
- J **Residuos Agrícolas:** aquellos generados por la crianza de animales y la producción, cosecha y segado de cultivos y árboles, que no se utilizan para fertilizar los suelos.
- J **Residuos Biomédicos:** aquellos generados durante el diagnóstico, tratamiento, prestación de servicios médicos o inmunización de seres humanos o animales, en la investigación relacionada con la producción de estos o en los ensayos con productos biomédicos.
- J **Residuos de Construcción o Demolición:** aquellos que resultan de la construcción, remodelación y reparación de edificios o de la demolición de pavimentos, casas, edificios comerciales y otras estructuras.

- J) **Residuo Industrial:** residuo generado en actividades industriales, como resultado de los procesos de producción, mantenimiento de equipo e instalaciones y tratamiento y control de la contaminación.
- J) **Residuo Sólido Especial:** residuo sólido que por su calidad, cantidad, magnitud, volumen o peso puede presentar peligros y, por lo tanto, requiere un manejo especial. Incluye a los residuos con plazos de consumo expirados, desechos de establecimientos que utilizan sustancias peligrosas, lodos, residuos voluminosos o pesados que, con autorización o ilícitamente, son manejados conjuntamente con los residuos sólidos municipales.
- J) **Residuo Sólido Urbano (RSU):** residuo sólido o semisólido proveniente de las actividades urbanas en general. Puede tener origen residencial o doméstico, comercial, institucional, de la pequeña industria o del barrido y limpieza de calles, mercados, áreas públicas y otros. Su gestión es responsabilidad de la municipalidad o de otra autoridad del gobierno. Sinónimo de basura y de desecho sólido.
- J) **Residuos Biodegradables:** todos los residuos que puedan descomponerse de forma aerobia o anaerobia, tales como residuos de alimentos y de jardín.
- J) **Residuos Voluminosos:** son aquellos materiales de origen doméstico que por su forma, tamaño o peso, son difíciles de ser recogidos o transportados por los servicios de recogida convencionales.

(Fuente: Informe sobre el Estado del Ambiente Año 2012 - Art. 18. Ley General del Ambiente N° 25.675)

2.2.1.2 - CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MANEJO

Se puede clasificar un residuo por sus características asociadas al manejo de los mismos:

- J) **Residuo peligroso:** todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general.

Según la Ley Nacional 24.051 “Residuos Peligrosos”, los que pertenezcan a cualquiera de las siguientes categorías

- Desechos clínicos.
- Desechos resultantes de la producción y preparación de productos farmacéuticos.
- Desechos de medicamentos y productos farmacéuticos.
- Desechos resultantes de la utilización de biocidas y productos fitosanitarios.
- Desechos resultantes de la utilización de disolventes orgánicos.
- Desechos que contengan cianuros, resultantes del tratamiento térmico.
- Desechos de aceites minerales.
- Mezclas y emulsiones de deshecho de aceite y agua o de hidrocarburos y agua.
- Residuos alquitranados resultantes de la refinación, destilación o cualquier otro tratamiento prolfico.
- Desechos resultantes de la utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices.
- Desechos resultantes de la utilización de resinas, látex, plastificantes o colas y adhesivos.
- Sustancias químicas de deshecho cuyos efectos no se conozcan.
- Desechos de carácter explosivo que no estén sometidos a una legislación diferentes.
- Desechos resultantes de la utilización de productos químicos y materiales para fines fotográficos.
- Desechos resultantes del tratamiento de superficies de metales y plásticos.
- Residuos resultantes de las operaciones de eliminación de desechos industriales.

Además, se consideran como “Residuos Peligrosos”, aquellos que contengan alguna de las siguientes características:

- Explosivos.
- Líquidos Inflamables.
- Sólidos Inflamables.
- Sustancias o desechos susceptibles de combustión espontánea.
- Sustancias o desechos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables.
- Oxidantes.
- Peróxidos orgánicos.

- Tóxicos (venenos) agudos.
 - Sustancias infecciosas.
 - Corrosivos.
 - Liberación de gases tóxicos en contacto con el aire o el agua.
 - Sustancias tóxicas (con efectos retardados o crónicos).
 - Sustancias que pueden, por algún medio, después de su eliminación, dar origen a otra sustancia.
-) **Residuo Sólido Patógeno:** residuo que por sus características y composición puede ser reservorio o vehículo de infección a los seres humano.
-) **Residuo Sólido Tóxico:** residuo que por sus características físicas o químicas, dependiendo de su concentración y tiempo de exposición, puede causar daño y aun la muerte a los seres vivos o puede provocar contaminación ambiental.
-) **Residuo inerte:** Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.
-) **Residuo no peligroso:** Ninguno de los anteriores. Se considera un residuo sólido NO PELIGROSO a aquellos provenientes de casas habitación, sitios de servicio privado y público, demoliciones y construcciones, establecimientos comerciales y de servicios que no tengan efectos nocivos sobre la salud humana.
-) **Residuos Radioactivos:** son materiales en forma gaseosa, líquida o sólida para los que no está previsto ningún uso, que contienen o están contaminados con elementos químicos radiactivos

Fuente: LEY 24.051 Residuos Peligrosos - Generación, manipulación, transporte y tratamiento (Enero, 1992)

2.2.2 - RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Un residuo sólido urbano es un material sólido generado como desecho por cualquier actividad en los núcleos urbanos, incluyendo tanto los de carácter doméstico como los provenientes de cualquier otra actividad generadora de residuos dentro del ámbito urbano (Oficina Panamericana de la Salud, 1998).

Se destaca la importancia de los Residuos sólidos Urbanos para este proyecto, ya que es el material, producto o subproducto que, sin considerarlo peligroso, se desecha en grandes cantidades y el cual puede reaprovecharse o requiere sujetarse a métodos de tratamiento o disposición final. Pueden ser residuos inorgánicos como vidrio, metales u orgánicos biodegradables, como frutas y verduras, restos de poda, entre otros.

Los orígenes de los RSU están relacionados con el uso del suelo y su localización. Aunque existe un número variable de clasificaciones sobre los orígenes, se destacan las siguientes categorías: 1) doméstico, 2) comercial, 3) institucional, 4) construcción y demolición, 5) servicios municipales, 6) plantas de tratamiento de lodos, 7) industrial, y 8) agrícola.

El conocimiento de los orígenes y los tipos de residuos sólidos, así como los datos sobre la composición y las tasas de generación, son básicos para el análisis de las características de la gestión integral de residuos sólidos.

Las instalaciones, actividades y localizaciones típicas para la generación de residuos asociada a cada uno de estos orígenes son expuestas en la Tabla 2. 1, donde los RSU normalmente se incluyen a todos los residuos de la comunidad con la excepción de los residuos de procesos industriales, los residuos agrícolas y los residuos de plantas de tratamiento (Tchobanoglous et al., 1994).

Tabla 2.1 - Orígenes de los residuos sólidos

Fuente	Instalaciones, actividades o localizaciones donde se generen	Tipos de residuos sólidos
Doméstica	Viviendas aisladas y bloques de baja, mediana y elevada altura, etc., unifamiliares y multifamiliares	Comestibles, papel, cartón, plásticos, textiles, cuero, residuos de jardín, madera, vidrio, latas de hojalata, aluminio, otros metales, cenizas, hojas de la calle, residuos especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos, bienes de línea blanca, residuos de jardín recogidos separadamente, baterías, pilas, aceite, neumáticos), residuos domésticos peligrosos.
Comercial	Tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, imprentas, estaciones de servicio, talleres mecánicos, etc.	Papel, cartón, plásticos, madera, residuos de comida, vidrio, metales, residuos especiales (ver párrafo anterior), residuos peligrosos, etc.
Institucional	Escuelas, hospitales, cárceles, centros gubernamentales.	(ídem comercial) Construcción
Construcción y demolición	Lugares nuevos de construcción, lugares de reparación/ renovación de carreteras, derribos de edificios, pavimentos rotos.	Madera, acero, hormigón, escombros en general, etc.
Servicios municipales	Limpieza de calles, paisajismo, limpieza de cuencas, parque y playas, otras zonas de recreo.	Residuos especiales, barridos de la calle, recortes de árboles y plantas, residuos de cuencas, residuos generales de parques, plantas y zonas de recreo.
Plantas de tratamiento; incineradoras municipales	Agua, aguas residuales y procesos de tratamiento industrial, etc.	Residuos de plantas de tratamiento, fangos residuales, cenizas.
Residuos Sólidos Urbanos	Todos los citados	Todos los citados
Industriales	Construcción, fabricación ligera y pesada, refinerías, plantas químicas, centrales térmicas, demolición, etc.	Residuos de procesos industriales, materiales de chatarra, etc. Residuos no industriales incluyendo residuos de comida, basura, cenizas, residuos de demolición y construcción, residuos especiales, residuos peligrosos.
Agrícolas	Cosechas de campo, árboles frutales, viñedos, ganadería intensiva, granjas, etc.	Residuos de comida, residuos agrícolas, residuos peligrosos

(Fuente: Tchobanoglous et al. 1994).

2.3 - GESTIÓN DE RSU

La gestión de RSU se encuentra directamente relacionada con los hábitos cotidianos de todos los estamentos de la sociedad e involucra a todos los ciudadanos. Al hablar de Gestión Integral, nos referimos al conjunto de componentes y/o etapas desde la generación de los residuos de cada habitante, su recolección (por contenedores, puerta a puerta), su transporte (para aquellas ciudades donde existen Plantas de Transferencia), los diferentes tratamientos (ej.: plantas de separación y acondicionamiento de reciclables) y la disposición final.

Existe una nueva visión del manejo de los residuos que difiere de la forma utilizada en el pasado que consistía en enterrarlos y desaparecerlos de la vista, es decir esconderlos. Hoy en día, al contrario de las décadas pasadas donde el nivel de residuos generado medía el nivel de desarrollo y bienestar, el manejo integral de los residuos parte de la adopción de medidas que permitan reducir su generación, lo cual requiere cambiar nuestros hábitos de producción y consumo.

La gestión integral de los residuos sólidos urbanos (GIRSU), puede ser definida como un sistema basado en el Desarrollo Sostenible, y que tiene como objetivo primordial el mejoramiento de la salud de la población y la preservación ambiental, mediante la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de gestión idóneos para lograr metas y objetivos específicos de gestión de residuos.

El manejo adecuado de los RSU tiene como objetivo final proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios, y evitar el impacto potencial que podrían ocasionar sobre el ambiente.

El concepto de integralidad se basa en abordar la problemática de RSU desde todas sus fuentes (domiciliarios, comerciales, institucionales, municipales, agropecuarios e industriales) y en todas sus etapas (generación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final); con un enfoque interdisciplinario (social, técnico, económico, legal, institucional, ambiental y cultural) tanto en la evaluación del impacto ambiental y social de RSU como en la búsqueda de estrategias de minimización de los riesgos ambientales.

En relación a los hábitos de consumo impacta directamente sobre la calidad de los residuos generados la calidad de los productos adquiridos, su posibilidad de reutilización o reciclaje, la cantidad de *packaging* o embalaje, mientras que en relación a los sistemas de producción nos estamos refiriendo no sólo a los procesos en sí mismos y como consecuencia de éstos a la cantidad de residuos generados y/o de *scrap* producido, sino además y fundamentalmente, a la concepción, diseño y vida útil de los productos generados y los respectivos impactos ambientales de cada uno de ellos.

En la siguiente Tabla 2. 2, se presenta la comparación de un sistema integrado *versus* el clásico sistema no integrado.

Tabla 2. 2 - Comparación de un sistema integrado versus sistema no integrado

COMPONENTES	GESTIÓN INTEGRADA		GESTIÓN NO INTEGRADA
	CARACTERÍSTICAS	DETALLE DE PROCESOS	CARACTERÍSTICAS
REDUCCIÓN	En origen: Producción Limpia (de bienes y servicios)	Investigación y Desarrollo (I&D). Evaluación de ciclo de vida. Optimización de diseño y procesos. Sustitución de insumos y tecnología Recursos y reciclados industriales. Otros	No se asocia a la GRISU
	En consumo: Consumo Sostenible	Compras selectivas. Modificación de hábitos de consumo. Recursos y reciclados hogareños	
GENERACIÓN	Con Segregación Domiciliaria	Separación y Clasificación según distintos tipos de RSU	Generalmente sin Segregación Domiciliaria. Segregación por Operadores Informales (Calles y BCA)
DISPOSICIÓN INICIAL	Almacenamiento temporario domiciliario. Hasta la Disposición inicial en los lugares de Recolección Diferenciada	Identificación de cada tipo de residuo (según día de la semana, por características de recipientes, por código de colores, etc.)	Almacenamiento temporario domiciliario, hasta la Disposición Inicial en los lugares de Recolección Conjunta
RECOLECCIÓN DOMICILIARIA Y SU TRANSPORTE	Diferenciados	Periodicidad establecida para la recolección según los distintos tipos de RSU	Recolección y Transporte Conjuntos
ASEO E HIGIENE URBANA	Barrido de Calles	Operaciones Manuales y/o Mecánicas	Operaciones Manuales y/o Mecánicas
	Podas y Limpieza de Parques y otros sectores		
	Almacenamiento Temporario		
	Recolección y Transporte		
TRANSFERENCIA Y SU TRANSPORTE	Diferenciados	Generalmente asociada a Plantas de Tratamiento. Los Restos no valorizados van al Centro de Disposición Final (CDF)	Conjunta
TRATAMIENTO	Según el tipo y condiciones de residuos recibidos para tratamiento	Segregación Industrial: Clasificación y acondicionamiento para Reciclado y Reúso	Segregación y compost: mayormente se hace en pequeña escala. Desgasificación: sólo en disposición final específicas. A veces incineración de residuos especiales, patógenos o peligrosos.
		Biológico (Compost/Biogás)	
		Térmico, Físico, Químico	
		restos no aprovechables van al CDF	
DISPOSICIÓN FINAL	Centro de Disposición Final: Relleno Sanitario	Todos los controles ambientales y técnicos	Basural Clandestino (Desvíos)
			Basural a Cielo Abierto
			Disposición semi-controlada

Fuente: Tchobanoglous et al., 1994

2.4 - JERARQUIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS

En la gestión integral de residuos a nivel mundial, existe un concepto de jerarquización para clasificar las acciones en la implantación de programas dentro de la comunidad (Figura 2. 1). Este ordenamiento vertical, define la importancia relativa en la que deben desarrollarse los programas de gestión de manera sistémica con el fin último de reducir en su mayor medida la disposición final de los residuos, habiendo previamente contemplado los conceptos anteriores de mayor jerarquía.



Figura 2. 1 - Jerarquía de la GRSU

Fuente: DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO, Noviembre de 2008

Una estrategia jerarquizada de gestión integral de residuos implica maximizar los beneficios de los productos minimizando la cantidad y peligrosidad de los residuos, tendiendo a poner el mayor énfasis en la reducción de los residuos en origen, y desarrollando estrategias de reutilización, reciclado y recuperación de energía de los RSU.

2.4.1 - ASPECTOS MÁS RELEVANTES DEL ESQUEMA DE JERARQUIZACIÓN

Reducción en origen:

Se enfoca en la prevención en la generación de residuos sólidos, generalmente mediante la reducción del volumen y de la toxicidad de los materiales producidos y consumidos. Los métodos para reducir la cantidad de residuos incluyen disminuir el uso de materiales desechables, sustituir dichos materiales por otros más duraderos y reutilizables, reducir el número de envases, minimizar la generación de residuos de jardín e incrementar la utilización eficaz de materiales (por ejemplo papel, vidrio, metales, plásticos, etc.) (Lund, 1996). Es la forma más eficaz de reducir la cantidad de residuos, el coste asociado a su manipulación y los impactos ambientales

Recogida Selectiva:

Es el método de recogida diferenciada de compuestos orgánicos fermentables y materiales reciclables. También se considera recogida selectiva a cualquier otro método de recogida diferenciada que permita la segregación de los materiales que poseen valor y que se encuentran entre los desechos.

En las comunidades más avanzadas en la gestión de los RSU en cada domicilio se recogen los distintos residuos en diferentes bolsas y se cuida especialmente este trabajo previo del ciudadano separando los diferentes tipos de basura. También se están diseñando camiones para la recogida y contenedores con sistemas que facilitan la comodidad y la higiene en este trabajo.

Reutilización:

La reutilización está íntimamente relacionada con la prevención en la producción de residuos. La adopción de medidas se centra principalmente en la reutilización de los envases. En el pasado este sistema ha sido bastante utilizado.

Para ciertos materiales como el vidrio la reutilización es deseable en términos ecológicos. Aunque hay que tener en cuenta que si los envases han de ser transportados a gran distancia, un radio superior a 200-300 km, el coste

ecológico de la reutilización alcanza y supera al del reciclado. Dado que un envase reutilizable ha de ser más robusto y tener más peso, a igualdad de materiales, debe tener en su vida útil un número mínimo de ciclos de consumo.

Reciclaje:

Implica la separación y la recogida de materiales residuales, y la posterior reutilización, reprocesamiento o nueva fabricación de productos. El reciclaje es un factor importante para ayudar a reducir la demanda de recursos y la cantidad de residuos que requieran la evacuación mediante vertido (Lund, 1996).

Recuperación/Transformación de residuos:

Se trata de la alteración física, química o biológica de los residuos. Las transformaciones que se aplican a los RSU se utilizan para mejorar la eficacia de las operaciones y sistemas de gestión de residuos, para recuperar materiales reutilizables y reciclables, y para recuperar productos de conversión y energía en forma de calor y biogás combustible. Da lugar a una mayor duración de la capacidad de los vertederos.

Vertido:

Como se ha descrito en la sección anterior, la evacuación está en la posición más baja de la jerarquía de GRSU porque representa la forma menos deseada por la sociedad para tratar los residuos. Esta etapa en particular adquiere una gran importancia para este proyecto, por lo cual será descrita en detalle a posterior en este capítulo.

2.5 - DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS EN LA GRSU

Las actividades asociadas a la gestión de residuos sólidos, desde el punto de generación hasta la evacuación final, han sido agrupadas en seis elementos funcionales (Tchobanoglous et al., 1994):

Ñ **Generación y Disposición inicial**

La disposición inicial de residuos domiciliarios se efectúa mediante métodos apropiados que prevengan y minimicen los posibles impactos negativos sobre el ambiente y la calidad de vida de la población, promoviendo la separación inicial de las diferentes corrientes de residuos. Involucra las actividades asociadas con la gestión de residuos hasta que éstos son colocados en contenedores de almacenamiento para la recolección.

La separación de los componentes de los residuos en origen es un paso importante. El almacenamiento in situ es una actividad primordial, debido a la preocupación tanto por la salud pública y ambiental, como a consideraciones estéticas. Existen distintas alternativas de contenedores, entre los que podemos mencionar: Cubos de basura, Bolsas o sacos desechables, Contenedores con ruedas, Contenedores de gran capacidad cerrados, Contenedores para recogida selectiva, etc.

Ñ **Recolección y Transporte**

En esta etapa los residuos domiciliarios son recolectados y transportados, a para su posterior tratamiento o disposición final. Se deben determinar los métodos y las frecuencias con que se hará la recolección, y las características de los medios de transporte para garantizar una adecuada contención de los residuos y evitar su dispersión en el ambiente.

El lugar donde se vacía el vehículo puede ser una instalación de procesamiento de materiales, una estación de transferencia o un vertedero. En las grandes ciudades la distancia desde el punto de recogida hasta el punto de evacuación es a menudo significativa, lo que puede generar importantes implicaciones económicas.

Ñ **Transferencia y Disposición Final**

Las operaciones de transferencia y transporte llegan a ser necesarias cuando las distancias de transporte a centros de procesamiento o a las zonas de evacuación disponibles se incrementan tanto que el transporte directo ya no es económicamente factible. Comprende dos pasos: 1) La transferencia de residuos desde un vehículo de recogida pequeño hasta un equipo de transporte más grande en una estación de transferencia. 2) El transporte

subsiguiente de los residuos, normalmente a través de grandes distancias, a un lugar de procesamiento o evacuación. |

Según el método utilizado para cargar los vehículos de transporte, se pueden clasificar las estaciones de transferencia en tres tipos generales: 1) carga directa, 2) almacenamiento y carga y 3) combinadas carga directa y descarga-carga (Tchobanoglous et al., 1994).

) **Evacuación o vertido:**

La evacuación mediante vertederos controlados es el destino final de los RSU, sean residuos urbanos recogidos y transportados directamente a un lugar de vertido, o materiales residuales de instalaciones de recuperación de materiales, o rechazos de la combustión de residuos sólidos o compost.

Un vertedero o relleno sanitario controlado es una instalación de ingeniería utilizada para la evacuación de residuos sólidos, diseñada y explotada para minimizar los impactos ambientales y cuidar la salud pública. Un vertedero incluye un recubrimiento en el fondo y superficies laterales con materiales naturales y/o fabricados para prevenir la migración de los lixiviados y de las mezclas de gases que se producen dentro del vertedero por la descomposición de los RSU. Tienen también sistemas para la recogida y extracción de dichos lixiviados y gases del vertedero. El volumen de material depositado se compacta y luego se colocan sobre éste capas que consisten entre 15 y 30 cm de suelo natural o materiales alternativos, con el fin de controlar el volado de materiales y la entrada de agua al vertedero, y prevenir la proliferación de vectores.

Existen rellenos sanitarios con trituración previa de RSU, que presenta ciertas ventajas respecto a los vertederos convencionales:

-) Los residuos triturados pueden compactarse un 35% más, lo que genera un mayor aprovechamiento del volumen del vertedero.
-) Menor necesidad de cobertura diaria.
-) Disminución de riesgos de incendios.
-) Limitación de emanaciones de gas metano.
-) Mejor aspecto del emplazamiento.
-) Disminución de la población de vectores.
-) Más rápida y mejor recuperación final del lugar.

Hay que tener en cuenta que este tipo de vertederos implica una mayor inversión inicial debido a la necesidad de trituradoras. Además es necesaria una sección para los residuos que no se trituran fácilmente (Oficina Panamericana de la Salud, 1998).

Ñ **Separación y Acondicionamiento**

Se denomina planta de separación y clasificación a aquellas instalaciones que son habilitadas para tal fin, y en las cuales los residuos son separados para su posterior valorización. En algunos casos, pueden incluirse también procesos de acondicionamiento o tratamiento de los materiales recuperados. Los procesos de transformación que se emplean para reducir el volumen y el peso de los residuos que deben ser evacuados, para recuperar materiales y productos para conversión y producción de energía. La siguiente Tabla 2. 3 presenta distintas alternativas de procesamiento de residuos.

Tabla 2. 3 - Alternativas de procesamiento de los RSU.

Proceso	Alternativa	Aspectos principales	Ventajas	Desventajas
Separación y Recuperación de RSU	Separación Manual	Supone la separación manual de los distintos componentes de los residuos en condiciones sanitarias aceptables utilizando bandas transportadoras mecánicas. La mayoría de las instalaciones están elevadas para que se puedan dejar caer los componentes separados a través de conductos. Los materiales recuperados se enfardan y pueden reutilizarse directamente o usarse como materias primas para fabricación y reprocesamiento	Aprovechamiento de materias primas. Economía energética. Uso racional de los recursos naturales. Creación de muchos puestos de trabajo.	Fuertes inversiones iniciales. Producción de rechazos, que exige un relleno complementario. Alto costo de transporte de material separado.
	Separación Mecánica	Consiste en la separación de los distintos componentes de los RSU mecánicamente. Algunas de las operaciones que se realizan son la separación de los componentes de los residuos, por tamaño, utilizando cribas; reducción del tamaño, mediante trituración; separación de metales féreos utilizando imanes; reducción del volumen por compactación, separación neumática por densidad, entre otros	Mayor aprovechamiento de materias primas. Uso racional de los recursos naturales. Mayor higiene y seguridad para los empleados	Fuertes inversiones iniciales. Producción de rechazos, que exige un relleno complementario. Alto costo de transporte de material separado. Mucho mantenimiento de equipos. Mayor utilización de energía.
Digestión Aerobia	Compostaje	El compostaje aerobio es un proceso para la conversión de la fracción orgánica de RSU a un material húmico estable conocido como compost. El proceso se desarrolla mediante la acción combinada de amplia gama de microorganismos, en determinadas condiciones que permiten obtener anhídrido carbónico, vapor de agua, calor y un resto orgánico estabilizado parecido al humus.	Mejora química, física y biológicamente el suelo. Aumenta la capacidad de retención de agua por el suelo.	Inestabilidad en el tiempo de fermentación. Fabricación de una sola calidad. Falta de información al agricultor para su uso. Distancias de suministro excesivas y alto costo de transporte.
Transformación anaerobia	Digestión anaerobia de sólidos en baja concentración	Proceso microbiológico que consiste en la degradación biológica, en ausencia de aire, de la parte orgánica de los residuos, dando como productos finales un biogás, compuesto fundamentalmente por metano y dióxido de carbono, y un residuo con una menor concentración en sólidos volátiles u orgánicos. La concentración de sólidos es igual o menor que el 4-8%. Este proceso se utiliza en muchas partes del mundo para generar gas metano.	Elevada destrucción de organismos patógenos y organismos parásitos. Obtención de biogás susceptible de aprovechamiento energético y económico. Reducción de la emisión de gases responsables por del efecto invernadero	Deben añadirse considerables cantidades de agua. Se produce un fango digerido muy diluido que hay que deshidratar antes de su evacuación
	Digestión Anaerobia con sólidos en alta concentración	El proceso es igual a la digestión anaerobia con sólidos en baja concentración con la diferencia de que la concentración de sólidos en este caso es de aproximadamente el 22% o más.	Tiene las mismas ventajas que la digestión anaerobia con sólidos en baja concentración sumado a: Mayor producción de biogás. Menores requisitos de agua.	Tecnología relativamente nueva y su aplicación no está totalmente desarrollada.
Transformación física	Incineración	Es el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión, compuesto principalmente de N, CO ₂ y vapor de agua, y rechazos no combustibles (cenizas). Debe cumplir requisitos mínimos para no producir contaminación. Se puede recuperar energía mediante el intercambio de calor procedente de los gases calientes de combustión. El vapor producido puede utilizarse directamente en procesos industriales, para calefacción de edificios o para la producción de energía mecánica o eléctrica mediante una turbina de vapor.	Importante reducción de peso y volumen de RSU. Escasa utilización de terrenos. Posibilidad de implantación cerca del núcleo urbano. Destruye contaminantes orgánicos y concentra los inorgánicos. Minimiza la cantidad de residuos para su disposición final en vertederos. Se puede recuperar energía calorífica que se puede emplear en la generación de vapor y/o electricidad y disminuye así la necesidad de combustibles fósiles. Las cenizas pueden ser utilizadas con ciertas precauciones como material para construcción.	Inversión alta de instalación. Costos operacionales elevados. Escasa flexibilidad de adaptarse a variaciones estacionales de generación de residuos. Técnica de explotación muy especializada. Precisa aporte de energía exterior para su funcionamiento. No supone un sistema de eliminación total, precisando un relleno para los rechazos. Problemas para el control de las emisiones a la atmósfera.

2.6 - PROPIEDADES DE LOS RSU.

A la hora de evaluar los impactos en el medio ambiente, los tratamientos más adecuados, y su potencialidad de reutilización como fuente de energía, es importante conocer en detalle las propiedades físicas, químicas y biológicas de los mismos, a saber:

2.6.1 - PROPIEDADES FÍSICAS:

)] **Peso específico:** Se define como el peso de un material por unidad de volumen (ej. kg/m³). Los datos sobre el peso específico de los materiales son necesarios para valorar la masa y el volumen total de los residuos que tienen que ser gestionados. Los pesos específicos de los residuos sólidos varían notablemente con la localización geográfica, la estación del año, el tiempo de almacenamiento y el grado de compactación alcanzado en el vertedero. (Tchobanoglous et al., 1994).

)] **Contenido de humedad:** Define la cantidad de agua contenida en un material. El contenido de humedad de los residuos sólidos puede expresarse de dos formas: el contenido volumétrico de humedad, que se refiere a la relación entre el volumen de agua contenida y el volumen total de los residuos; o el contenido gravimétrico de humedad, que representa la relación entre el peso del agua contenida y el peso total de los residuos (Lund, 1996). El nivel de humedad de residuos es importante para calcular la potencia calorífica, la generación de lixiviado, y el consecuente diseño de sus instalaciones.

)] **Tamaño de partícula y distribución del tamaño:** Esta propiedad es de consideración importante dentro de la recuperación de materiales, especialmente con medios mecánicos, como cribas, trommel, y separadores magnéticos (Tchobanoglous et al., 1994). Los componentes de los residuos se suelen describir según su longitud, anchura y altura (Kiely, 1999).

)] **Capacidad de campo:** Se refiere a la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad, por encima de la cual el agua drena libremente. La capacidad de campo de los residuos es de una importancia crítica para determinar la generación de lixiviados en los vertederos. Esta propiedad varía con el grado de presión aplicada y el estado de descomposición del residuo (Tchobanoglous et al., 1994).

)] **Permeabilidad de los residuos o conductividad hidráulica:** Es una propiedad física importante que, en gran parte, gobierna el transporte de lixiviados y gases dentro de un vertedero. (Tchobanoglous et al., 1994).

2.6.2 - PROPIEDADES QUÍMICAS:

La información sobre la composición química de los componentes que conforman los RSU es importante para evaluar las opciones de procesamiento y recuperación. Si los residuos van a utilizarse como combustible, las cuatro propiedades más importantes que es preciso conocer son:

)] **Análisis físico:** El análisis físico de los componentes combustibles de los RSU incluye los siguientes ensayos:

1. **Humedad** (pérdida de humedad cuando se calienta a 105°C durante una hora).
2. **Materia volátil combustible** (pérdida de peso adicional con la ignición a 950°C en un crisol cubierto).
3. **Carbono fijo** (rechazo combustible dejado después de retirar la materia volátil).
4. **Ceniza** (peso del rechazo después de la incineración).

)] **Punto de fusión de ceniza:** Se define como la temperatura en la que la ceniza resultante de la incineración de residuos se transforma en sólido (escoria) por la fusión y la aglomeración. Las temperaturas típicas de fusión para la formación de escorias de residuos sólidos oscilan entre 1100°C y 1200°C.

) **Análisis elemental de los componentes de residuos sólidos:** Normalmente implica la determinación del porcentaje de C (carbono), H (hidrógeno), O (oxígeno), N (nitrógeno), S (azufre) y ceniza. Debido a la preocupación acerca de la emisión de compuestos clorados durante la combustión, frecuentemente se incluye la determinación de halógenos en el análisis elemental. Los resultados de este análisis se utilizan para caracterizar la composición química de la materia orgánica en los RSU. También se usan para definir la mezcla correcta de materiales residuales necesaria para conseguir relación C/N aptas para los procesos de conversión biológica.

) **Contenido energético de los componentes de los residuos sólidos:** Se puede determinar de distintas formas: utilizando una caldera a escala real como calorímetro, utilizando una bomba calorimétrica de laboratorio o por cálculo, si se conoce la composición elemental.

Cuando la fracción orgánica de los RSU se va a compostar o se va a utilizar como alimentación para la elaboración de otros productos de conversión biológica, es importante tener información sobre los elementos mayoritarios que componen los residuos, como también sobre los elementos en cantidades traza que se encuentran en los residuos (Tchobanoglous et al., 1994).

2.6.3 - PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Las propiedades biológicas son importantes para la tecnología de la digestión aerobia/ anaerobia en las transformación de residuos en energía y en productos finales beneficiosos.

Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos: Se puede usar el contenido de lignina de un residuo para estimar la fracción biodegradable. La velocidad a la que los diversos componentes pueden ser degradados varía notablemente. Con fines prácticos, los componentes principales de los residuos orgánicos en los RSU a menudo se clasifican como de descomposición rápida y lenta.

Asociado a la descomposición de residuos surge la generación de olores y la proliferación de vectores tales como moscas por la disponibilidad de factores favorables a su reproducción y desarrollo (Tchobanoglous et al., 1994).

2.7 - TRATAMIENTO DE LOS RSU

Gestionar adecuadamente los RSU es uno de los mayores problemas de muchos municipios en la actualidad. El tratamiento moderno del tema incluye varias fases. Todas ellas deben trabajar de forma mancomunada siendo cada una de ellas, una parte esencial y sistémica en el flujo de los RSU. Entre los diferentes métodos empleados en la actualidad para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos destacan, los siguientes:

) PLANTAS DE SELECCIÓN

En los vertederos más avanzados, antes de tirar la basura general, pasa por una zona de selección en la que, en parte manualmente y en parte con máquinas se le retiran latas (con sistemas magnéticos), cosas voluminosas, etc.

) RECICLAJE

La nueva política actual de gestión de residuos está destinada a reducir el volumen de los mismos que se elimina en vertedero. La producción de residuos actual es muy elevada, por lo que la vida útil de estas instalaciones está reduciéndose de forma considerable, además de encarecerse como consecuencia de las cada vez más estrictas exigencias para la protección del medio ambiente. Esto ha traído consigo la tendencia a buscar otros sistemas de tratamiento basados en la recuperación y reutilización de fracciones contenidas en los mismos (Hontoria García y Zamorano Toro, 2000).

El reciclaje es un proceso que tiene por objeto la recuperación de forma directa o indirecta de determinados componentes contenidos en los residuos. Está basado en la conservación de los recursos naturales. Este sistema supone una reducción apreciable del volumen de residuos a tratar y, por supuesto, favorece la protección del medio ambiente. El reciclaje se puede llevar a cabo por recuperación directa de los componentes presentes en el residuo (mediante recogida selectiva) o bien partiendo del conjunto bruto, por trituración, cribado, separación de las fracciones ligeras y clasificación del resto por vía húmeda, electromagnética, electrostática y flotación por espumas, para la obtención y depuración de metales y vidrio.

) INCINERACIÓN

Durante la década de los años 1960 la eliminación de los residuos sólidos urbanos mediante incineración se mostraba como el sistema definitivo de tratamiento. Se encargaron muchos proyectos y la implantación de instalaciones de incineración adquirió un gran auge. Esto se mantuvo hasta 1975, momento a partir del cual disminuyeron considerablemente las obras de construcción y los proyectos que se llevaban a cabo en referencia a este método de gestión de los residuos. El éxito del sistema fue especialmente importante en el norte y centro de Europa así como en EE.UU. La incineración consiste en un proceso de combustión controlada que transforma los residuos en materiales inertes (cenizas) y gases.

Como ventaja está el necesitar poco terreno para su implantación y poder situar sus instalaciones en zonas próximas a los núcleos urbanos; además, puede incinerarse cualquier tipo de residuo con poder calorífico y adecuarse incluso para la gestión de los lodos de depuradora. Su principal desventaja radica en el hecho de no ser un sistema de eliminación total de residuos, pues si bien se reduce su peso en un 70% y su volumen en un 80-90%, genera cenizas, escorias y gases. Además necesita una alta inversión económica, ya que requiere un elevado aporte de energía externa, puesto que estos residuos tienen un poder calorífico bastante bajo. Asimismo, es preciso prever la posible contaminación derivada de los gases de combustión.

) COMPOSTAJE

El compostaje consiste en la transformación, mediante fermentación controlada, de la materia orgánica fermentable presente en los residuos urbanos con la finalidad de obtener un producto inocuo y con buenas propiedades como fertilizante o enmienda orgánica de suelos que recibe el nombre de compost. El proceso lleva consigo la separación de la mayor parte de los metales, vidrios y plásticos, y la posterior fermentación de la materia orgánica. Esta fermentación puede ser natural al aire libre o acelerada en digestores.

Se puede definir el compost como el producto que resulta del proceso de compostaje y maduración, constituido por una materia orgánica estabilizada, en cierto modo similar al humus, con poco parecido con el material original, puesto que se ha degradado dando como resultado partículas más finas y oscuras. Se trata de un producto inocuo y libre de sustancias fitotóxicas, cuya aplicación al suelo no provoca daños a las plantas, y que permite su almacenamiento sin posteriores tratamientos ni alteraciones. Por tanto, siguiendo esta definición, el compost debería presentar las siguientes características (Costa et al., 1995):

Z **Es un producto estabilizado:**

La estabilización es un requisito previo al empleo agrícola del compost como enmienda de suelos. Debe lograrse mediante procesos biológicos y no confundirse con otros procesos como desecación y esterilización. Si las condiciones volvieran a ser favorables para la fermentación del producto, ésta podría producirse (gracias al metabolismo latente).

Z **Es un producto inocuo:**

La destrucción de organismos patógenos se consigue con el efecto continuado de la alta temperatura, el tiempo y la competencia de la población microbiana no patógena con la patógena, condiciones que se dan preferentemente en la etapa termófila.

Z **Debe haberse sometido a una etapa inicial de descomposición:**

La degradación se incluye en la primera fase de compostaje y una vez finalizada ésta comienza la fase de estabilización, en la que los compuestos orgánicos solubles y catabolitos orgánicos se encuentran en un nivel bajo.

Z **Es el resultado de un proceso de humificación:**

Durante la fase de estabilización del producto (maduración) se producirá una humificación, acompañada de un lento proceso de mineralización. Por todas estas razones, los productos “no terminados” (no humificados o que contengan sustancias fitotóxicas) no deberían denominarse compost, aunque algunos de ellos puedan tener usos especiales. Cuando estos productos salen al mercado para su uso agrícola es necesario que se especifique su origen, así como su composición y su grado de estabilización. Si se ha mezclado con algún otro producto durante su proceso de compostaje deberá expresarse el porcentaje de peso seco de estos productos en orden de concentración decreciente. Asimismo, cuando al compost se le añade, durante su fase de estabilización, otra materia orgánica distinta de la original, el producto final debería llamarse “acondicionador orgánico de suelos” y no compost.

J) VERTIDO CONTROLADO

La evacuación mediante vertederos controlados es el destino final de los RSU, sean residuos urbanos recogidos y transportados directamente a un lugar de vertido, o materiales residuales de instalaciones de recuperación de materiales, o rechazos de la combustión de residuos sólidos o compost, etc.

Consiste en un principio en la colocación de los residuos sobre el terreno, extendiéndolos en capas de poco espesor y compactándolos para disminuir su volumen. Se suele realizar su recubrimiento diario con suelo para minimizar los riesgos de contaminación ambiental y para favorecer la transformación biológica de los materiales fermentables. La elección adecuada del terreno es fundamental, en especial para preservar a las aguas superficiales y subterráneas de la contaminación por lixiviados. El tratamiento que se puede seguir es el de compactación ligera y recubrimiento con mayor periodicidad o compactación intensa sin recubrimiento.

Dentro de las ventajas, se destacan los costes reducidos de instalación y funcionamiento, alta capacidad de absorber variaciones de producción, escaso impacto ambiental si está bien gestionado y posibilidad de ser utilizado tanto para la producción de biogas como así también, una vez colmatado, como zona deportiva, ajardinada, etc.

Respecto de las desventajas, se destaca la necesidad de grandes superficies, tener que ubicarse lejos de los núcleos urbanos con el consiguiente gasto que supone el transporte, la colmatación y necesidad de cambio de lugar, y, sobre todo, la imposibilidad de aprovechar los recursos contenidos en los residuos en caso de no contar con una gestión de gases de descomposición. La Tabla 2. 4, enuncia las consecuencias negativas que derivan de la operación inadecuada de vertederos sanitarios de RSU:

En la Figura 2. 2 pueden apreciarse las características que conforman un vertedero controlado.



Figura 2. 2- Esquema de un Relleno Sanitario o Vertedero Controlado

Fuente: CEAMSE.

Tabla 2. 4 - Repercusiones negativas en la sociedad y el ambiente

PRINCIPALES PROBLEMAS	CAUSAS
DETERIORO DEL PAISAJE	Acumulación de residuos sólidos sin cobertura cerca de carreteras, caminos vecinales, etc.
	Incendios, dispersión de materiales ligeros y polvos.
CONTAMINACIÓN DEL AIRE	Olores desagradables propios de la descomposición de los residuos sólidos.
	Incendios y suspensión de partículas.
	Generación de gases tóxicos y humos.
CONTAMINACIÓN DE CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS	Ubicados en sitios de suelos permeables.
	Carencia de un sistema de impermeabilización y control de lixiviados.
	Falta de cobertura diaria y final.
	Cercanía de cuerpos de agua superficial y subterránea.
	Carencia de obras de desvío de aguas pluviales.
CONTAMINACIÓN DEL SUELO	Ubicación de sitios en suelos permeables.
	Carencia de un sistema de impermeabilización y control de lixiviados.
	Falta de cobertura diaria y final.
	Cercanía de cuerpos de agua superficial y subterránea.
	Carencia de obras de desvío de aguas pluviales.
	Falta de control de materiales ligeros.
IMPACTO EN LA SALUD	Proliferación de fauna nociva.
	Presencia de animales domésticos dentro del sitio
	Contacto directo con los residuos sólidos.
	Migración y movilidad de contaminantes, a través de suelo, aire y agua.
IMPACTO SOCIAL	Abandono o falta de control de los sitios de disposición final.
	Existencia de materiales aprovechables.

Fuente: SEDSOL, 2001a.

Como se observa, en los todos predios de disposición final en donde se realiza el vertido de residuos, sin discriminar por la infraestructura instalada, se producen transformaciones en los residuos del tipo físicas químicas y biológicas, y en tales procesos será de vital importancia estudiar lo que se denomina como lixiviado.

2.7.1 - LIXIVIADO

Se denomina lixiviado al líquido resultante de un proceso de percolación de un fluido a través de los residuos depositados y que extrae, disueltos o suspendidos, materiales a partir de ellos. El lixiviado está formado por la mezcla de las aguas de lluvia infiltradas en el depósito y otros productos y compuestos procedentes de los procesos de degradación de los residuos.

El término lixiviado se usa en casi todas las ciencias ambientales, siendo su uso más general el que corresponde al lixiviado de los depósitos controlados o predios de disposición final, por lo que generalmente se asocia el término lixiviado a los líquidos que se gestionan en los depósitos controlados de residuos. Una parte importante del agua que interviene en el balance hídrico de un depósito controlado se convierte en lixiviado.

Conocer las características propias del lixiviado y de su flujo dentro de un vertedero controlado será de vital importancia a la hora de definir la infraestructura que debe aplicarse en el predio, las operaciones que controlen su flujo y el aporte del mismo a la hora de estimar la producción de biomasa ya que su presencia y composición son factores determinantes.

$$\text{Lixiviado} = \text{Agua en el residuo} + \text{Infiltración agua de lluvia} + \text{Entradas agua subterránea}$$

El factor preponderante que interviene en la generación del lixiviado es la Infiltración de Agua debido a que la mayor parte del lixiviado en un relleno sanitario es de origen superficial y a su penetración; está en función de tres variables:

-) **Precipitación Pluvial:** Depende de la temperatura del año y la ubicación geográfica del sitio.
-) **Condiciones de la superficie:** Aquellas que afectan la generación de lixiviados, incluyen: la vegetación, el material de cubierta (tipo, dimensión, compactación, permeabilidades, contenido de humedad, etc.), topografía de la superficie, temperatura, inclinación, humedad y velocidad del viento sobre el relleno.
-) **Evaporación - Evapotranspiración:** la evaporación es aplicable cuando está en operación y al cierre, antes de la aparición de una cubierta vegetal, los parámetros que influyen en la evaporación son la temperatura, ubicación geográfica del sitio, temporada del año, humedad, días de insolación y velocidad del viento, etc.

Para cuantificar los lixiviados que se generan en el vertedero puede emplearse un balance hidrológico global, que no es más que el recuento de todos los aportes y consumos y salidas de agua del vertedero para, teniendo en cuenta la capacidad de retención de los residuos, hallar la cantidad correspondiente al lixiviado.

2.8 - IMPACTOS DE LA GRSU

2.8.1 - EN LA SALUD PÚBLICA

Son muchos los efectos a corto y a largo plazo que la contaminación atmosférica puede ejercer sobre la salud de las personas. En efecto, la contaminación atmosférica urbana aumenta el riesgo de padecer enfermedades respiratorias agudas, como la neumonía, y crónicas, como el cáncer del pulmón y las enfermedades cardiovasculares.

La contaminación atmosférica afecta de distintas formas a diferentes grupos de personas. Los efectos más graves se producen en las personas que ya están enfermas. Además, los grupos más vulnerables, como los niños, los ancianos y las familias de pocos ingresos y con un acceso limitado a la asistencia médica son más susceptibles a los efectos nocivos de dicho fenómeno.

Se calcula que en el mundo suman 1,3 millones las personas que mueren en un año a causa de la contaminación atmosférica urbana; más de la mitad de esas defunciones ocurren en los países en desarrollo. La contaminación del aire representa un grave problema de higiene del medio que afecta a los habitantes de los países en desarrollo y desarrollados. Los residentes de las ciudades donde hay niveles elevados de contaminación atmosférica padecen más enfermedades cardíacas, problemas respiratorios y cánceres de pulmón que quienes viven en zonas urbanas donde el aire es más limpio.

La importancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades, se les atribuye una incidencia en la transmisión de algunas de ellas, al lado de otros factores, principalmente por vías indirectas.

Para comprender con mayor claridad sus efectos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos y los riesgos indirectos que provocan.

2.8.1.1 - RIESGOS DIRECTOS

Son los ocasionados por el contacto directo con los residuos, por la costumbre de la población de mezclar los residuos con materiales peligrosos tales como: vidrios rotos, metales, jeringas, hojas de afeitar, excrementos de origen humano o animal, e incluso con residuos infecciosos de establecimientos hospitalarios y sustancias de la industria, los cuales pueden causar lesiones a los operarios de recolección de residuo.

El servicio de recolección de residuos es considerado uno de los trabajos más arduos: se realiza en movimiento, levantando objetos pesados y, a veces, por la noche o en las primeras horas de la mañana; condiciones estas que lo vuelven de alto riesgo y hacen que la morbilidad pueda llegar a ser alta. Las condiciones anteriores se tornan más críticas si las jornadas son largas y si, además, no se aplican medidas preventivas o no se usan artículos de protección necesarios.

Asimismo, los vehículos de recolección no siempre ofrecen las mejores condiciones: en muchos casos, los operarios deben realizar sus actividades en presencia continua de gases y partículas emanadas por los propios equipos, lo que produce irritación en los ojos y afecciones respiratorias; por otra parte, estas personas están expuestas a mayores riesgos de accidentes de tránsito, magulladuras, etc.

En peor situación se encuentran los segregadores de residuos, cuya actividad de separación y selección de materiales se realiza en condiciones inhumanas y sin la más mínima protección ni seguridad social. En general, por su bajo nivel socioeconómico, carecen de los servicios básicos de agua, alcantarillado y electricidad y se encuentran sometidos a malas condiciones alimentarias, lo que se refleja en un estado de desnutrición crónica.

Los segregadores de residuos suelen tener más problemas gastrointestinales de origen parasitario, bacteriano o viral que el resto de la población. Además, sufren un mayor número de lesiones que los trabajadores de la industria; estas lesiones se presentan en las manos, pies y espalda, y pueden consistir en cortes, heridas, golpes, y hernias, además de enfermedades de la piel, dientes y ojos e infecciones respiratorias, etc. Frecuentemente, estos problemas son causantes de incapacidad. Los mismos segregadores de residuos se transforman en vectores sanitarios y potenciales generadores de problemas de salud entre las personas con las cuales conviven y están en contacto.

2.8.1.2 - RIESGOS INDIRECTOS

El riesgo indirecto más importante se refiere a la proliferación de animales, portadores de microorganismos que transmiten enfermedades a toda la población, conocidos como vectores. Estos vectores son, entre otros, moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que, además de alimento, encuentran en los residuos sólidos un ambiente favorable para su reproducción, lo que se convierte en un caldo de cultivo para la transmisión de enfermedades, desde simples diarreas hasta cuadros severos de tifoidea u otras dolencias de mayor gravedad. Se estima que un kilogramo de materia orgánica permite la reproducción de 70.000 moscas.

Los residuos son la fuente principal de reproducción de la mosca doméstica, que transmite enfermedades y causa la muerte de millones de personas en todo el mundo. Por tanto, el elemento clave para el control de la mosca doméstica es un buen almacenamiento, seguido de la recolección y disposición sanitaria final de los residuos en rellenos sanitarios.

Asimismo, se puede afirmar que otro factor que pone en riesgo la salud pública y que, por tanto, obliga a disponer correctamente los residuos sólidos es la alimentación de animales con residuos (vacas, cerdos, cabras, aves) sin vigilancia sanitaria. Esta práctica no es recomendable, ya que se corre el riesgo de propagar diversos tipos de enfermedades, pues no debemos olvidar que estos residuos suelen estar mezclados con desechos infecciosos provenientes de hospitales y centros de salud o de otros lugares contaminados donde los residuos se descarga sin ninguna separación previa ni tratamiento.

Por último, otros riesgos que pueden presentarse por la mala disposición de estos residuos en los tiraderos de residuos, en las orillas de las carreteras y cerca de aeropuertos, son los accidentes provocados por la disminución de la visibilidad a causa de los humos producidos por las frecuentes quemas de residuos o por colisiones con las aves asociadas a estos sitios.

2.8.2 - EN EL AMBIENTE

El efecto ambiental más obvio del manejo inadecuado de los residuos sólidos municipales lo constituye el deterioro estético de las ciudades, así como del paisaje natural, tanto urbano como rural. La degradación del paisaje natural, ocasionada por los residuos arrojados sin ningún control, va en aumento; es cada vez más común observar tiraderos a cielo abierto o residuos amontonados en cualquier lugar.

2.8.2.1 - CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El efecto ambiental más serio pero menos reconocido es la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, por el vertimiento de residuos a ríos y arroyos, así como por el líquido percolado (lixiviado), producto de la descomposición de los residuos sólidos en los tiraderos a cielo abierto.

La descarga de residuos sólidos a las corrientes de agua incrementa la carga orgánica que disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes que propician el desarrollo de algas y dan lugar a la eutrofización, causa la muerte de peces, genera malos olores y deteriora la belleza natural de este recurso. Por tal motivo, en muchas regiones las corrientes de agua han dejado de ser fuente de abastecimiento para el consumo humano o de recreación de sus habitantes.

La descarga de residuos en arroyos y canales o su abandono en las vías públicas, también trae consigo la disminución de los cauces y la obstrucción tanto de estos como de las redes de alcantarillado. En los periodos de lluvias, provoca inundaciones que pueden ocasionar la pérdida de cultivos, de bienes materiales y, lo que es más grave aún, de vidas humanas.

2.8.2.2 - CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Otro efecto negativo fácilmente reconocible es el deterioro estético de los pueblos y ciudades, con la consecuente desvalorización, tanto de los terrenos donde se localizan los tiraderos como de las áreas vecinas, por el abandono y la acumulación de residuos. Además, la contaminación o el envenenamiento de los suelos es otro de los perjuicios de dichos tiraderos, debido a las descargas de sustancias tóxicas y a la falta de control por parte de la autoridad ambiental.

2.8.2.3 - CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Los residuos sólidos abandonados en los tiraderos a cielo abierto deterioran la calidad del aire que respiramos, tanto localmente como en los alrededores, a causa de las quemas y los humos, que reducen la visibilidad, y del polvo que levanta el viento en los periodos secos, ya que puede transportar a otros lugares microorganismos nocivos que producen infecciones respiratorias e irritaciones nasales y de los ojos, además de las molestias que dan los olores pestilentes.

2.8.2.4 - ALTERACIÓN DEL EFECTO INVERNADERO

Como se ha mencionado anteriormente, la descomposición de la fracción orgánica presente en los RSU produce gases que son liberados a la atmosfera. Estos gases (descritos a continuación), tienen en distinta medida generan un impacto en la dinámica natural de la capa de Ozono, alterando así el llamado Efecto Invernadero.

2.8.3 - EN LA ECONOMIA

Uno de los principales problemas más preocupantes que la sociedad tiene que enfrentar es la generación de residuos sólidos, provocando externalidades negativas sobre las finanzas públicas municipales, la estabilidad social, el medio ambiente, la imagen urbana y las políticas públicas.

En el mundo se desecha actualmente alrededor de 4 millones de toneladas de desperdicios domésticos, urbana e industrial diariamente, con una densidad media de 200 kg/m³ equivalente a 20 millones de m³ que ocuparía un recipiente de base cuadrada de un kilómetro por lado y de 200 m de altura. Un 30% de estos residuos se entierran y el resto ya constituye un serio problema desde el punto de vista ecológico, higiénico, sanitario, político, social, económico; ya que el costo de la recolección, transporte y eliminación es cada vez más cara, en virtud de que se desaprovecha el potencial energético de estos residuos.

En el caso de algunos países latinoamericanos, las evidencias indican que los servicios de aseo urbano no son autofinanciables en la mayoría de estos. (Tabla 2. 5), dentro de los cuales se considera México. De aquí que la escasez de recursos financieros ha obligado a los servidores públicos de esta materia a tomar algunas de las siguientes medidas planteadas por Acurio y Rossin (1997: 78).

Tabla 2. 5 - Costo del manejo de los residuos sólidos en algunos países latinoamericanos

Actividad	% Respecto al total	Valor aproximado en U\$D
Recolección	43 – 50%	30 - 80 por tonelada
Transferencia	10 – 25%	10 - 20 por tonelada
Disposición Final	10 – 20%	10 - 20 por tonelada
Total	100%	70 - 150 por tonelada

Fuente: Acurio y Rossin (1997)

Más aún, aprovechar el vidrio, papel y cartón, los metales, el plástico y otros materiales susceptibles de ser reutilizados se obtendrían grandes ventajas económicas, sociales y ambientales, pero mientras estos sigan viéndose como basura seguirán prevaleciendo y aumentando los problemas que a su alrededor provocan.

El uso de terrenos como tiraderos clandestinos o sitios de disposición final inadecuados representa la pérdida de suelos cultivables y disminuye a su vez el valor de los terrenos colindantes. Esto finalmente se traduce en pérdidas económicas para los respectivos dueños. De igual forma, la contaminación de cuerpos de agua por residuos imposibilita su aprovechamiento y provoca también pérdidas económicas.

Además, las enfermedades causadas por los residuos generan gastos económicos en las personas afectadas (costos de consultas médicas, medicinas, tratamientos, entre otros) y una disminución en el rendimiento laboral que no permite obtener un ingreso.

2.8.4 - EN EL DESARROLLO URBANO

La inadecuada disposición de RSU también es fuente de deterioro de los ecosistemas urbanos de borde, como tierras agrícolas, zonas de recreación, sitios turísticos y arqueológicos, entre otros. Ello, a su vez, afecta a la flora y fauna de la zona. Es común que los tiraderos a cielo abierto se sitúen en las áreas donde vive la población económicamente más pobre, lo que aumenta el grado de deterioro de todas las condiciones y, en consecuencia, devalúa las propiedades, lo que constituye un obstáculo para el desarrollo urbano de la ciudad.

Asimismo, cerca de estos lugares se instalan tanto los segregadores como los intermediarios dedicados a la compra y venta de materiales obtenidos en los basurales, quienes en forma precaria construyen sus improvisadas viviendas y expanden así el cinturón de miseria y deterioro del vecindario.

Las difíciles condiciones económicas, las migraciones rurales, en suma, la pobreza, han convertido los recursos contenidos en los residuos en el medio de subsistencia de muchas personas con sus familias.

El grupo de población que se dedica a la recuperación de elementos en los sitios de disposición final demanda una mayor atención y esfuerzo del Estado para el mejoramiento de sus condiciones de vida, porque, además de los riesgos sanitarios directos a los cuales está expuesto, puede incidir en las condiciones de salud de la población que se encuentra a su alrededor.

Fuente: Jorge Jaramillo, Agosto 2003

2.9 - EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero es el fenómeno natural por el cual determinados gases, que son componentes de la atmósfera terrestre, retienen parte de la energía que la superficie planetaria emite por haber sido calentada por la radiación solar. Sucede en todos los cuerpos planetarios rocosos dotados de atmósfera. Este fenómeno evita que la energía recibida constantemente vuelva inmediatamente al espacio.

Los gases de efecto invernadero (GEI) son componentes gaseosos de la atmósfera, naturales o antropogénicos que absorben y emiten radiación en determinada longitud de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes.

2.9.1 - BALANCE ENERGÉTICO DE LA TIERRA

Esta acción de equilibrio, entre la recepción de la radiación solar y la emisión de radiación infrarroja devuelve al espacio la misma energía que recibe del Sol, se llama balance energético de la Tierra y permite mantener la temperatura en un estrecho margen que posibilita la vida.

La superficie de la Tierra recibe del Sol 161 w/m^2 y del Efecto Invernadero de la Atmósfera 333 w/m^2 , en total 494 w/m^2 , como la superficie de la Tierra emite un total de 493 w/m^2 ($17+80+396$), supone una absorción neta de calor de $0,9 \text{ w/m}^2$, que en el tiempo actual está provocando el calentamiento de la Tierra.

La energía infrarroja emitida por la Tierra es atrapada en su mayor parte en la atmósfera y reenviada de nuevo a la Tierra. Este fenómeno da lugar al llamado Efecto Invernadero y garantiza las temperaturas templadas del planeta. Según estudios, el Efecto Invernadero de la atmósfera hace retornar nuevamente a la Tierra 333 W/m^2 .

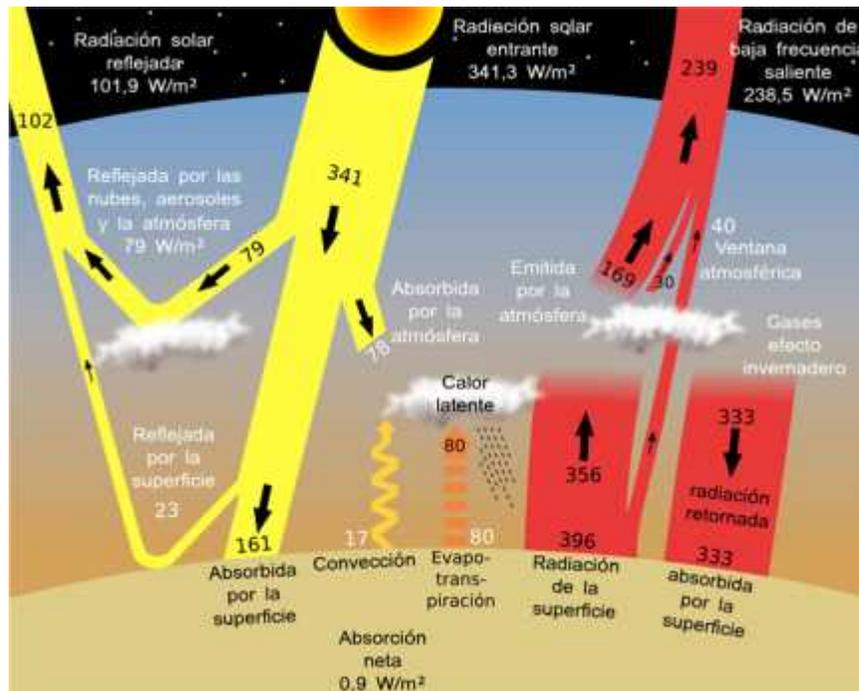


Figura 2. 4 - Esquema del balance anual de energía del planeta Tierra

Fuente: The Earth Observer. November - December 2006. Volume 18, Issue 6. page 38 Autor: Keihl and Trenberth (1997)

Los principales constituyentes de la atmósfera, N_2 , O_2 y Ar, no son capaces de absorber luz infrarroja. Los gases atmosféricos que participan en mayor parte del efecto invernadero, son el agua ($2/3$ del efecto) y el CO_2 ($1/4$ del efecto).

2.9.2 - ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE LUZ INFRARROJA DE GEI

La radiación que nos llega del Sol (ver Figura 2. 5) está formada por rayos de longitud de onda más bien pequeña, como corresponde a una energía importante (rayos ultravioletas, rayos visibles y rayos infrarrojos, que tienen una longitud de onda que va de $0,2$ a 4 milésimas de milímetro).

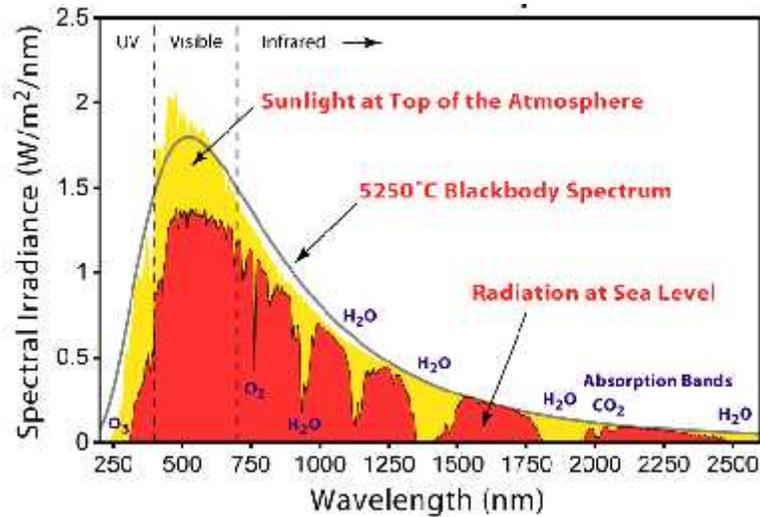


Figura 2. 5 - Espectro de radiación solar en la tierra

Fuente: Méndez Muñiz, Javier María; Cuervo García, Rafael; Bureau Veritas Formación (2010). *Energía Solar Térmica*. Fundación Confemetal

La radiación emitida por la tierra, en cambio, tiene una longitud de onda más grande (Figura 2. 6), como corresponde a una energía más pequeña (está situada toda infrarrojo, con longitudes de onda que van de 3 a 50 milésimas de milímetro). Las moléculas absorben luz infrarroja (IR) en un rango corto de frecuencias, en lugar de absorber justamente una única frecuencia.

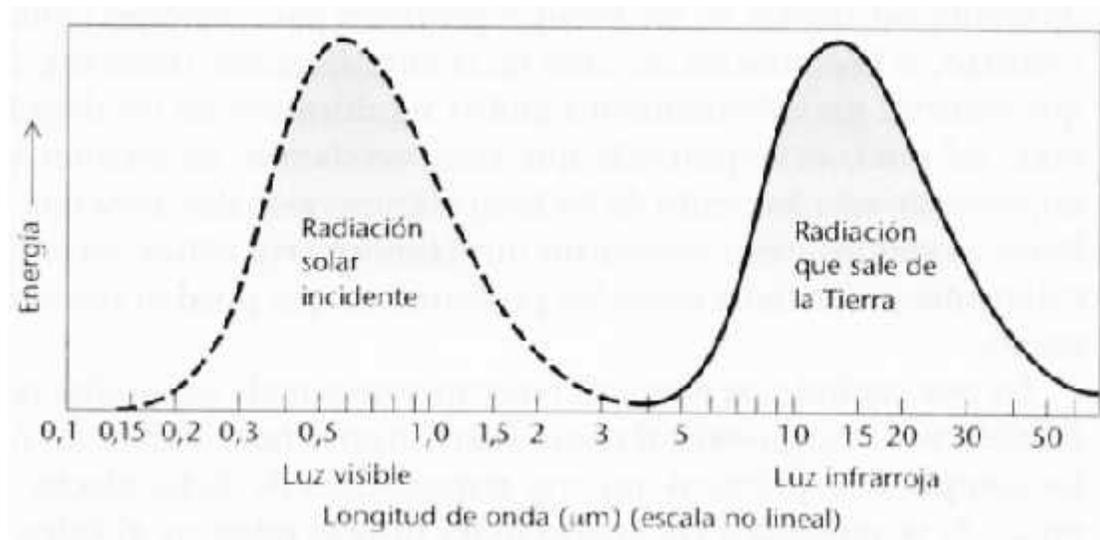


Figura 2. 6 - Distribución de longitudes de onda de la luz emitida por el Sol (---) y por la Tierra (—).

Fuente: Houweling et al. 1999

La absorción de luz por una molécula ocurre más eficientemente cuando las frecuencias de la luz y de una de sus vibraciones coinciden. Sin embargo, la luz de una frecuencia algo mayor o algo menor que la de vibración puede ser absorbida en cierta extensión por un buen grupo de moléculas de gases presentes en la atmósfera.

Esta capacidad de las moléculas de absorber luz infrarroja en un rango corto de frecuencias, en lugar de absorber justamente una única frecuencia, ocurre debido a que esta no es la única energía asociada con la vibración que cambia cuando se absorbe un fotón infrarrojo; hay también, un cambio en la energía asociada con la rotación de la molécula alrededor de su eje interno.

Normalmente, un gas es más o menos “transparente” en la medida en que, cuando es atravesado por un rayo de radiaciones, se produce un fenómeno en el cual, el gas absorbe los rayos de una o de varias longitudes de onda determinadas, dejando pasar las demás. El conjunto de longitudes de onda que son absorbidas por un gas se denomina el espectro de absorción de este gas. Podemos ver algunos de estos espectros de absorción en la Figura 2. 5.

La Figura 2. 5 muestra:

-) Las bandas de absorción en la atmósfera de la Tierra y el efecto que esto tiene en tanto la radiación solar y la radiación térmica *upgoing* (panel superior).
-) El espectro de absorción individual para los principales gases de efecto invernadero
-) La dispersión de Rayleigh; que manifiesta la dispersión de radiación electromagnética por partículas cuyo tamaño es mucho menor que la longitud de onda de los fotones dispersados.

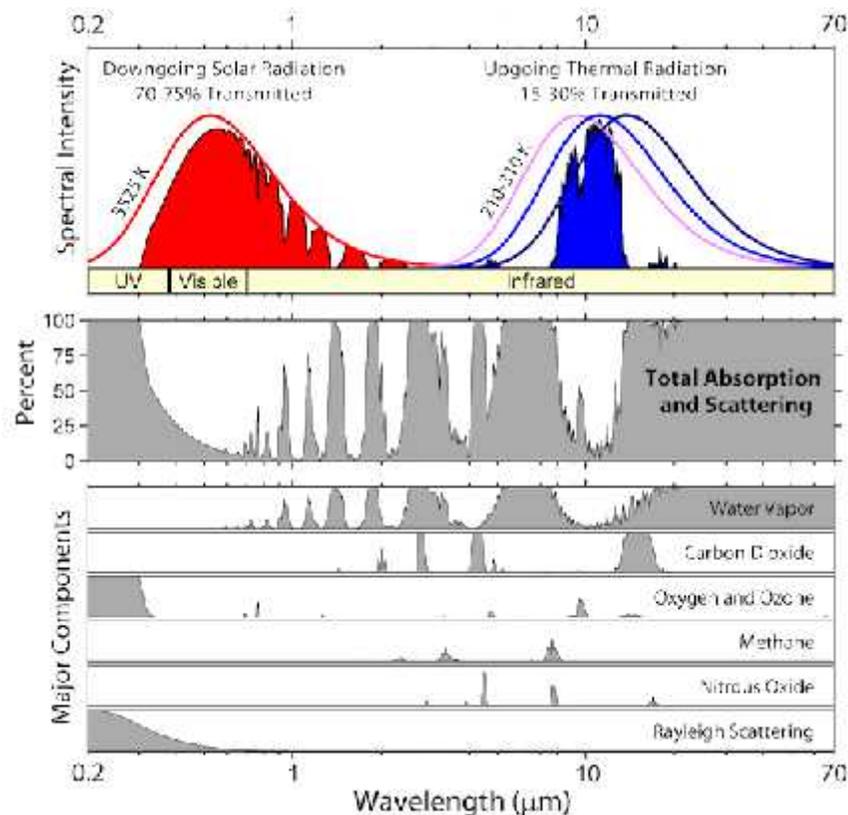


Figura 2. 7 - Espectro de absorción IR de los GEI

(Rothman et al. 2004)

Para el caso del CO₂, la absorción máxima de luz en el rango del infrarrojo térmico (porción azul del espectro de radiaciones) ocurre a una longitud de onda de 15 μm, que corresponde a una frecuencia de 2 x 10¹³ ciclos por segundo (Hertz); la absorción ocurre a esta frecuencia en particular, ya que coincide con una de las vibraciones en la molécula de CO₂.

Las moléculas de CO₂ presentes en la actualidad en el aire absorben la mitad de la luz IR que escapa con longitudes de onda comprendidas entre 14 y 16 μm, y una importante parte del rango 12-14 μm y 16-18 μm. Esta absorción se debe a las variaciones en la energía absorbida por los movimientos rotacional y vibracional.

Después del dióxido de carbono y del agua, el metano, CH₄, es el siguiente gas invernadero en importancia.

Una molécula de CH₄ contiene cuatro enlaces C-H.

-) Las vibraciones de tensión C-H ocurren fuera de la región del IR térmico (la radiación emitida por la tierra)
-) La vibración de flexión H-C-H absorbe a $7,7 \mu\text{m}$, cerca del límite de la ventana del IR térmico.

Por molécula, el aumento del CH_4 en el aire origina 21 veces más efecto invernadero que la adición de CO_2 . Las moléculas de CH_4 absorben una mayor fracción de fotones del IR térmico que pasan a través de ellas (Figura 2. 8).

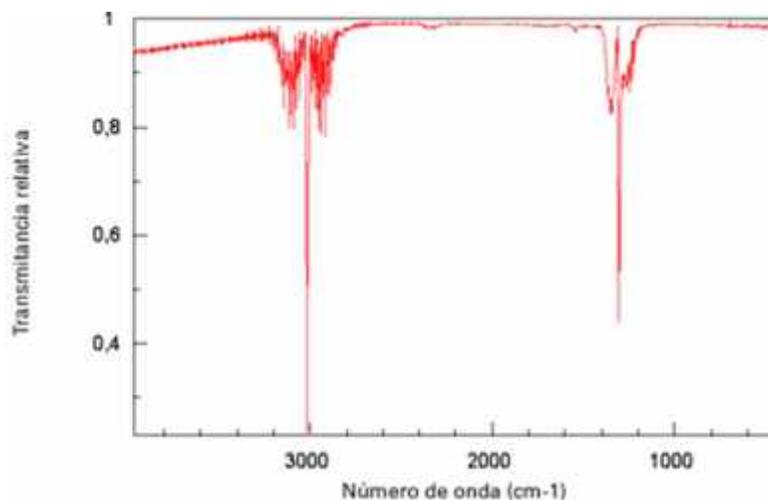


Figura 2. 8 - Espectro de absorción IR del gas Metano

(NIST Chemistry WebBook (<http://webbook.nist.gov/chemistry>))

Cerca de un 70% del metano actual es de origen antropogénico debido principalmente al aumento de la producción de alimentos, la utilización de combustibles fósiles, la deforestación y los vertederos sin gestión de captación de gases. En la Figura 2. 9, puede observarse los niveles de emisiones antropogénicas, expresados en Gt, desde el año 1860 hasta el año 2000

Hasta la fecha, se estima que el metano ha producido alrededor de una tercera parte del efecto invernadero originado por el CO_2 (Houweling et al. 1999).

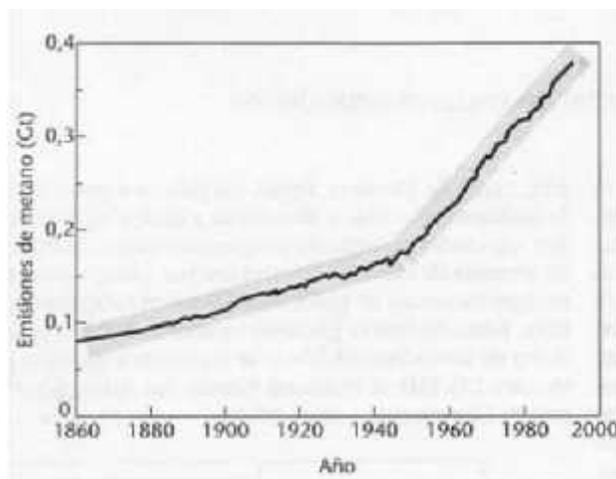


Figura 2. 9 - Emisiones antropogénicas de metano desde 1860

(Houweling et al. 1999).

2.9.2.1 - FUENTES DE EMISIÓN DE METANO CH₄

El gas Metano ingresa a la atmósfera de dos formas diferentes: a través de procesos naturales de animales y plantas, y a través de las actividades humanas como la fabricación de elementos plásticos, la extracción o combustión del carbón. En la Figura 2. 10, se puede observar la proporción que cada tipo de fuente aporta a la atmosfera.



Figura 2. 10 - Fuentes de Emisiones de Metano

Fuente: Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks (2008), EPA.

Combustible fósil:

El metano es encontrado siempre donde hay combustible fósil. Se emite durante operaciones normales de extracción de petróleo, gas natural o carbono. También durante la manipulación, procesamiento y transporte (ya sea en camiones o a través de tuberías) del combustible fósil. Con simplemente comprar o usar combustible fósil del tipo carbono, gas natural o petróleo estás contribuyendo a las emisiones de metano.

Animales de cría:

Algunos animales de granja emiten metano de dos formas diferentes. Vacas, ovejas y cabras son ejemplos de animales rumiantes que durante su proceso natural de digestión crean grandes cantidades de metano. Lo que se conoce como fermentación entérica ocurre en el estómago de estos animales y es la causa de emisiones.

La segunda forma es a través de la descomposición del estiércol del ganado. Cuando vacas, cerdos y gallinas son criados con fines comerciales, existen obviamente grandes cantidades de estiércol que se producen todos los días, por lo tanto las granjas tienen procedimientos para su tratamiento. La manera que se procesa el excremento es utilizando sistemas de tratamiento de estiércol y tanques. El estiércol se descompone dentro de estos tanques que permanecen cerrados sin oxígeno. Cuando material orgánico se descompone de forma anaeróbica (sin ingreso de oxígeno) se producen grandes cantidades de metano.

Vertederos:

Tanto el estiércol como los vertederos y la basura al aire libre están llenos de materia orgánica (Ej. Restos de comida, periódicos, pasto y hojas). Los residuos que ingresan al vertedero, por lo general son depositados encima de aquellos que fueron depositados con anterioridad, creando así ausencia de oxígeno (condiciones anaeróbicas) y así se producen grandes cantidades de metano.

Según el informe del *“Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks (2008), EPA”*, en los Estados Unidos, los vertederos de residuos sólidos urbanos representan el 25% de las emisiones antropogénicas de gas Metano CH₄.

2.9.3 - INVENTARIO DE GEI

Los gases de efecto invernadero más importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana. También entran en este concepto algunos gases artificiales, producto de la actividad industrial.

Los principales GEI son:

- J **Dióxido de carbono** (CO₂),
- J **Metano** (CH₄),
- J **Óxido nitroso** (N₂O),
- J **Hidroclorofluorocarbonos** (HFC)
- J **Perfluorocarbonos** (PFC)
- J **Hexafluoruro de azufre** (SF₆).
- J **Vapor de Agua** (H₂O)

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) prepara anualmente un inventario de éstos gases para cumplir con los compromisos existentes en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas. Este inventario debe ser proporcionado a la Secretaría de la CMNUCC cada año el 15 de abril.

En la República Argentina, y en particular en la Provincia de Córdoba, no contamos hasta el momento con este tipo de información oficial, la cual es un punto de partida para abordar el compromiso de reducción de emisiones GEI.

2.9.4 – DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE (CO₂_{equiv})

Cada GEI tiene una influencia térmica (forzamiento radiactivo) distinta sobre el sistema climático mundial por sus diferentes propiedades radioactivas y períodos de permanencia en la atmósfera. Tales influencias se homogeneizan en una métrica común tomando como base el forzamiento radiactivo por CO₂ (emisiones de CO₂-equivalente). Homogeneizados todos los valores, el CO₂ es con mucha diferencia el gas invernadero antropógeno de larga permanencia más importante, representando en 2004 el 77 % de las emisiones totales de GEI antropógenos. Ver Tabla 2. 6 y Tabla 2. 7.

El dióxido de carbono equivalente (*Carbon Dioxide Equivalent* (CO_{2e})) es una medida universal de medición utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases con efecto invernadero.

Es usado para evaluar los impactos de la emisión de diferentes gases que producen el efecto invernadero. La “posibilidad de calentamiento global”, de los tres gases con efecto invernadero asociados con la silvicultura son los siguientes: dióxido de carbono, que persiste en la atmósfera entre 200 a 450 años, es definido como un potencial 1 del calentamiento mundial; el metano, persiste en la atmósfera entre 9 a 15 años y tiene un potencial de calentamiento global 23; y el óxido nitroso, que persiste por unos 120 años y tiene un potencial de calentamiento global 296.

Tabla 2. 6 - Dióxido de carbono equivalente CO_{2e}

GASES DE EFECTO INVERNADERO	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO EQUIVALENTE
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	23
Óxido nitroso (N ₂ O)	296
Hexafluoruro de azufre (SF ₆)	22.200
Hidrofluorocarburos (HFC)	120 - 12.000
Perfluorocarburos	5.700 - 11.99

Fuente: “Implicaciones de las propuestas de limitación de emisiones de CO₂”. (Tom M. L. Wigley et al. Octubre de 1997)

Pero el problema no solo es la magnitud sino también las tasas de crecimiento. Entre 1970 y 2004, las emisiones anuales de CO₂ aumentaron un 80 %. Además en los últimos años el incremento anual se ha disparado: en el reciente periodo 1995-2004, la tasa de crecimiento de las emisiones de CO₂-e fue de (0,92 Gt CO₂-eq anuales), más del doble del periodo anterior 1970-1994 (0,43 Gt CO₂-e anuales).

Tabla 2. 7 - Gases de Efecto Invernadero afectados por actividades humanas

Descripción	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HFC	CF ₄
Concentración pre industrial	280 ppm	700 ppb	270 ppb	0	0	40 ppt
Concentración en 2004	365 ppm	1.745 ppb	314 ppb	268 ppt	14 ppt	80 ppt
Permanencia en la atmósfera	de 5 a 200 años	12 años	114 años	45 años	260 años	<50.000 años

Fuente: ICCP, Clima 2004, *La base científica, Resumen técnico del Informe del Grupo de Trabajo I*, p. 38

2.9.5 - CONTENIDO ATMOSFÉRICO DE CO₂

Actualmente el CO₂ presente en la atmósfera está creciendo de modo no natural por las actividades humanas, principalmente por la combustión de carbón, por tanto es preciso diferenciar entre el efecto invernadero natural del originado por las actividades de los hombres (ver Figura 2. 11).

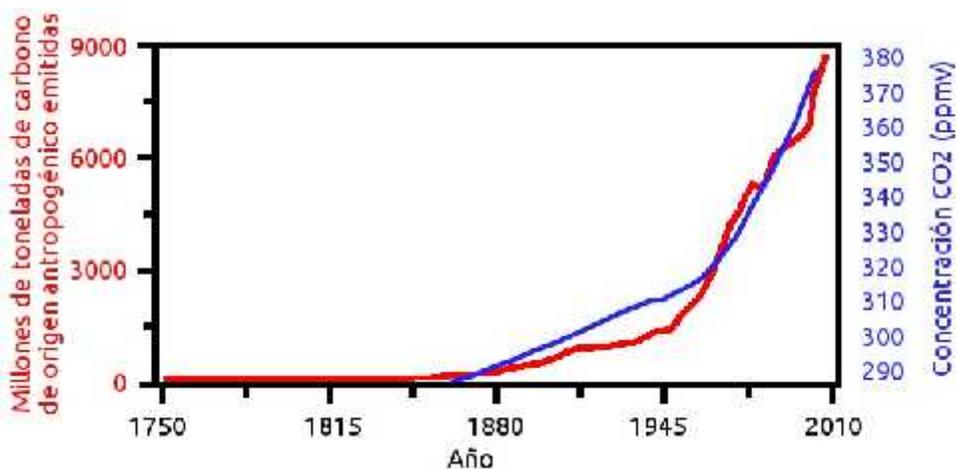


Figura 2. 11 - Evolución de la concentración de dióxido de carbono desde 1750 a 2010 y su relación con la emisión de carbono de origen antropogénico

Fuente: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EmisionesCarbonoCO2.jpg>

La denominada curva Keeling (Figura 2. 12), muestra el continuo crecimiento de CO₂ en la atmósfera desde 1958. Recoge las mediciones de Keeling en el observatorio del volcán Mauna Loa. Estas mediciones fueron la primera evidencia significativa del rápido aumento de CO₂ en la atmósfera y atrajo la atención mundial sobre el impacto de las emisiones de los gases invernadero.

Dado el reducido espesor atmosférico la alteración de algunos componentes moleculares básicos, que también se encuentran en pequeña proporción, supone un cambio significativo. En concreto, la variación de la concentración de CO₂, el más importante de los gases invernadero de la atmósfera, clasificado en este caso con referencia a las aportaciones por actividades humanas.

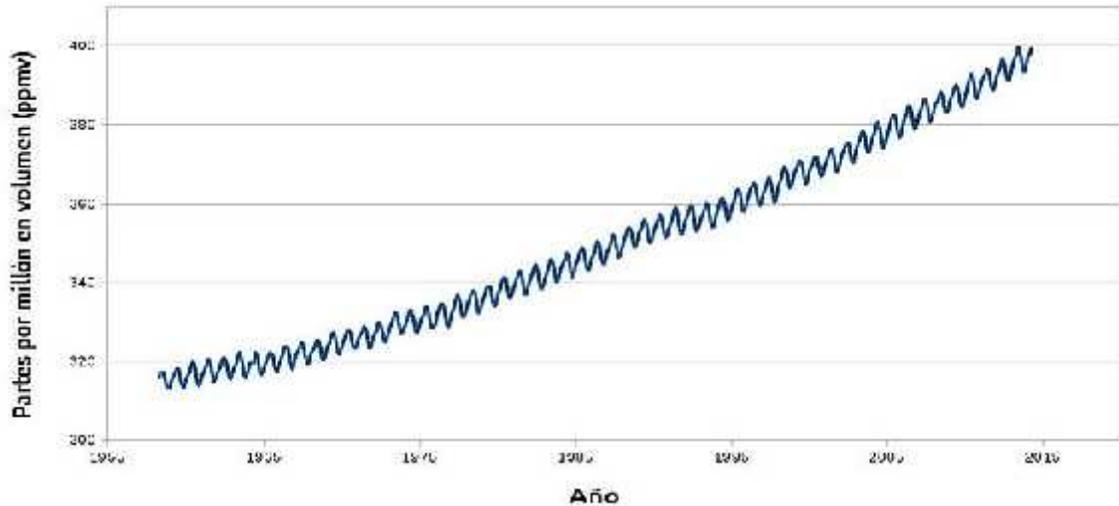


Figura 2. 12 - Curva de Keeling

Fuente: Oceanography y NOAA. (Keeling, 2014)

La Curva de Keeling muestra una variación de unos 5 ppmv (*parts per million by volume*) cada año correspondiente al consumo estacional de CO₂ por la vegetación. La mayor parte de la vegetación está en el hemisferio Norte porque es donde se localiza la mayor superficie de tierra emergida.

El nivel disminuye desde la primavera del hemisferio Norte porque el crecimiento de las plantas mediante la fotosíntesis toma dióxido de carbono de la atmósfera y vuelve a aumentar en el otoño del hemisferio Norte cuando las plantas mueren o pierden las hojas y sueltan el dióxido de carbono a la atmósfera.

Debido a la importancia de los hallazgos de Keeling la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) comenzó en 1970 a monitorizar los niveles de CO₂ en todo el mundo.

El origen de dichas emisiones se observa en la siguiente Tabla 2. 8.

Tabla 2. 8 - FUENTES Y ACTIVIDADES QUE PRODUCEN GEI

Gas de Efecto Invernadero	Fuente	Actividad
Dióxido de Carbono (CO₂)	Quema de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) Deforestación Cambio de uso del suelo Quema de bosques Transporte y generación térmica Forestal Agricultura Incendios Forestales	Transporte y generación térmica Forestal Agricultura Incendios Forestales
Metano (CH₄)	Vertederos de basura Excrementos de animales Gas natural Descomposición de desechos orgánicos Ganadera Petrolera	Descomposición de desechos orgánicos Ganadera Petrolera
Óxido Nitroso (N₂O)	Combustión de automóviles Fertilizantes Alimento de ganado Fertilización nitrogenada Estiércol Desechos sólidos	Transporte Agricultura Industrias Quema de desechos sólidos
Carburos Hidrofluorados (HFC) y Carbonos Perfluorados (PFC)	Sistemas de refrigeración Industria frigorífica	Industria frigorífica
Clorofluorocarbonos (CFC)	Sistemas de refrigeración Plástica Aerosoles Electrónica Sector Industrial	Sector Industrial
Hexafluoruro de azufre (SF₆)	Aislante, eléctrico y estabilizante Interruptores eléctricos (breakers) Transformadores Sistema interconectado de redes eléctricas Extintores de incendios	Sistema interconectado de redes eléctricas Extintores de incendios

Fuente: Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático – Ecuador, 2011

Como se observa en este esquema, la descomposición de RSU, es uno de los factores que aportan Metano a la atmosfera, contribuyendo así a la concentración de GEI.

2.10 - SINTESIS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se plasmaron los aspectos fundamentales de la gestión integral de residuos sólidos urbanos, y como ésta interactúa con el medio ambiente, la sociedad y la economía de los ciudadanos.

Queda claro que nadie está exento en el sistema ya que todos y cada uno de los integrantes de un estado participan de forma activa o pasiva de la producción de residuos y las consecuencias del manejo de los mismos.

Por otro lado, se explicó cómo afecta la producción de metano y dióxido de carbono, derivados de la descomposición de residuos a la capa de ozono, mediante la comprensión del funcionamiento de esta última.

Respecto del Efecto Invernadero, como sistema de balance energético, se profundizará en este estudio en la producción de gases derivados de la descomposición de los residuos, considerando distintas alternativas de gestión.

A partir de este capítulo se tiene un enfoque holístico de cómo deben considerarse las prácticas ambientales con el objetivo de adentrarse en el análisis del impacto de las herramientas de gestión para poder cuantificar cuantitativamente los beneficios y desventajas que posee cada una de ellas y como se relacionan entre sí.

CAPITULO 3: GASES DERIVADOS DE RSU

3.1 - INTRODUCCION

En el presente capítulo se describen las características de los gases derivados de la descomposición de residuos sólidos urbanos. Se detalla el proceso de generación de los mismos, exponiendo las condiciones, variables y factores claves para poder estimar las cantidades que puedan ser aprovechadas tanto para su explotación energética como así también para eliminar su polución en la atmósfera.

Se presenta además un resumen de los tratamientos típicos de gases y los antecedentes de captación y tratamiento en la República Argentina.

Se exponen los principales problemas que devienen de una gestión inadecuada de los gases mencionados.

3.2 – DEFINICIÓN DEL BIOGAS

El biogás es una mezcla de gases que se genera en medios naturales o en dispositivos diseñados para tal fin, como los biodigestores, producto de las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores en ausencia de oxígeno (condiciones anaerobias).

La producción de biogás por descomposición anaeróbica controlada, es una manera muy útil para tratar residuos biodegradables, ya que:

1. Produce un combustible de valor (Metano CH_4);
2. Como subproducto, se genera un efluente de gran valor nutritivo para su uso como abono en agricultura;
3. La gestión controla la polución de lixiviados, propia del vertido de residuos, como se ha expuesto en el capítulo II de este proyecto.

Por otra parte, la USEPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, por sus siglas en inglés) ha determinado que las emisiones de biogás de rellenos sanitarios municipales causan o contribuyen significativamente a la contaminación del aire que potencialmente puede causar daños a la salud pública.

Algunos de los contaminantes contenidos en el biogás se suponen son carcinógenos, o pueden causar otros efectos adversos a la salud. Algunos problemas para el bienestar público incluyen el mal olor del biogás y el potencial de migración del mismo dentro y fuera de la propiedad del relleno sanitario que podría causar incendios y/o explosiones.

Tanto el metano (CH_4) como el dióxido de carbono (CO_2), emitido por rellenos sanitarios, principales componentes del biogás, son los principales causantes de problemas por ser gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global.

3.3 - COMPOSICIÓN

Su composición depende de la naturaleza de los residuos dispuestos en el relleno y del equilibrio fisicoquímico alcanzado entre el lixiviado y la fase sólida.

Puesto que la composición del biogás puede ser muy variable en los diferentes sitios (e incluso en el mismo sitio en función del tiempo), resulta difícil determinar una composición general aplicable a todas las emisiones gaseosas de los tiraderos o rellenos sanitarios.

En la Tabla 3. 1, se presenta un resumen de los valores y sus rangos de variaciones más frecuentes en la literatura internacional.

Tabla 3. 1 - Rango de composición de biogás generados en rellenos sanitarios

PARÁMETRO	UNIDAD	RANGO DE VARIACIÓN
METANO	%CH ₄	30-65
DIÓXIDO DE CARBONO	%CO ₂	20-40
NITRÓGENO	%N ₂	5-40
HIDRÓGENO	%H ₂	1-3
OXÍGENO	%O ₂	0-5
ARGÓN	%Ar	0-0,4
SULFURO DE HIDRÓGENO	%H ₂ S	0-0,01
SULFATO TOTAL	%S	0-0,01
CLORURO TOTAL	%Cl	0.005
TEMPERATURA	°C	10-40
CONTENIDO DE HUMEDAD	% humedad relativa	0-100
MASA	Kg/m ³	1,1-1,28
NIVEL DE ENERGÍA MINIMO	MJ/Nm ³	10,8-23,3

(G. Kiss y G. Encarnación. Junio 2006)

El metano es el segundo mayor contribuyente al calentamiento global entre los gases de efecto invernadero, después del dióxido de carbono; el potencial de calentamiento global del metano (en un horizonte temporal de 100 años) es entre 21 y 23 veces mayor que el del dióxido de carbono.

3.4 - GENERACIÓN DE BIOGAS.

La producción de biogás a partir de RSU está regida por los procesos de estabilización de la fracción orgánica contenida en dichos residuos.

En rellenos sanitarios estos procesos, aunque en su mayor parte se llevan a cabo en condiciones anaerobias (sin oxígeno), en un principio, debido al oxígeno que queda atrapado en los intersticios de los residuos, cuando se cubre con tierra también se presenta la degradación aeróbica (con oxígeno) que inhibe el proceso anaeróbico y cancela la producción de gas metano (CH₄).

Una vez alcanzada la fase metanogénica estable en el sitio de disposición final (Figura 3. 2), esto es alrededor de un año después de iniciada su operación, la tasa de generación se hace relativamente constante, mientras se mantenga el ingreso de la misma cantidad de residuos diariamente.

3.4.1 - FACTORES DE GENERACIÓN DE BIOGAS

3.4.1.1 - FACTORES INTERNOS (PROPIOS DE LOS RSU Y SU DISPOSICIÓN)

Los factores importantes que tienen que ver con la generación del biogás son, al igual que con los lixiviados, el contenido de humedad, el pH y la alcalinidad, y las propiedades fisicoquímicas de los RSU.

) **Contenido de humedad:**

Dependiendo de las características físicas y químicas de los materiales orgánicos presentes en un relleno, un mismo contenido de humedad puede reflejar situaciones muy distintas respecto a la disponibilidad del agua para los microorganismos.

La producción de metano se incrementa al aumentar el contenido de humedad, un alto contenido favorece el intercambio (transporte y distribución) de sustratos, nutrientes, organismos reguladores y bacterias; el exceso de humedad disminuye el contacto entre la materia y se produce una fermentación anaerobia.

Los valores óptimos de humedad que maximizan la producción de biogás, están alrededor de 60% (A.G.H.T.M. 1977).

La limitación en el transporte de oxígeno evita que se inhiba el crecimiento de bacterias; existe un valor mínimo de humedad necesaria para producir actividad microbiana que, en el caso de desechos municipales, llega a ser de casi 40% (SEDESOL 2005).

) **pH y Alcalinidad:**

El ecosistema metanogénico en el relleno es bastante delicado y las relaciones balanceadas entre los grupos es crucial para lograr una buena tasa de producción.

La bacteria metanogénica es estrictamente anaerobia y es muy sensible a las condiciones del medio; ésta se desarrolla sólo en un pequeño rango de valores de pH (6.5 a 7.5). Si la bacteria es afectada por otros factores, la conversión de hidrógeno y de ácido acético disminuyen, la presión del hidrógeno se incrementa y el pH decrece, llevando a una mayor concentración de ácido butírico y ácido propiónico y una disminución mayor del pH. Eventualmente, la producción de metano se detiene.

) **Las propiedades fisicoquímicas de los residuos:**

Varían según el sitio, y también en el tiempo, resultando por ende, lixiviados y biogás con características diversas. Por otro lado, el contenido de elementos contaminantes en estos productos depende de la composición química de los residuos, la capacidad de descomposición de los componentes y el calor de reacción de los diversos procesos de transformación, entre otros.

3.4.1.2 - FACTORES EXTERNOS (PROPIOS DEL SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL)

La calidad de los lixiviados y biogás asociada a los procesos de descomposición de los residuos, dependen también de diferentes factores externos o del entorno, entre los cuales se encuentran:

) **Las condiciones climáticas y meteorológicas:**

Comprenden todos los factores ambientales que influyen en los procesos de transformación, tales como la precipitación pluvial, temperatura y vientos, principalmente.

La precipitación juega un papel determinante en la generación del lixiviado, favoreciendo la solubilización de los componentes tóxicos de los residuos, mientras el efecto de la temperatura y de los vientos prevalece en su influencia sobre las condiciones del balance hídrico.

En todos los procesos principales de transformación, sea vía aerobia, anaerobia o por lixiviación, un elemento común es el agua, que está presente en los mismos residuos como contenido de humedad, sin embargo, en su mayor parte proviene de la precipitación.

En la degradación de los residuos el agua desempeña un papel muy importante, ya que cataliza los procesos de degradación a través de la hidrólisis y disolución de componentes tóxicos de la materia orgánica e inorgánica, y da como resultado finalmente la producción del lixiviado.

En la Figura 3.1 se observa el papel importante que juega el agua al contacto con la materia orgánica para la generación de lixiviados que contienen agentes tóxicos derivados de los residuos. Por lo que, si se logra controlar la cantidad de agua que incide en los residuos (gestionando la entrada de aguas pluviales y subterráneas mediante la impermeabilización del fondo y de la cubierta del relleno), el agua disponible se limitaría al contenido de humedad de los residuos, y en consecuencia disminuiría considerablemente la generación de lixiviados y el riesgo de contaminación al ambiente.

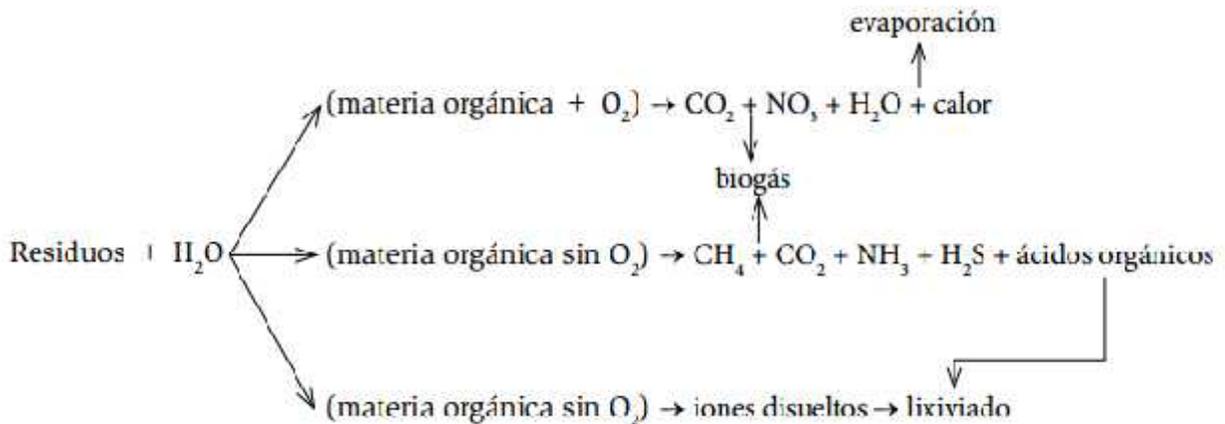


Figura 3. 1 - Esquema general de la descomposición de los residuos por causa del contacto con agua

(Kiss y Mendoza 1998).

) **Temperatura:**

Las reacciones de oxidación generalmente son exotérmicas, por lo que la temperatura interna del relleno puede alcanzar en corto tiempo temperaturas de 60 °C o más. Debido a ello, un porcentaje importante de la humedad se evapora, por tanto en esta fase, directamente del proceso de la descomposición aerobia prácticamente no se genera lixiviado (Kiss y Mendoza 1998).

La formación de metano se presenta durante etapas en las cuales se establecen condiciones anaerobias. Como en todos los procesos microbianos la degradación anaerobia de los residuos es la afectada por la temperatura. La bacteria metanogénica contiene un grupo Termófilico al cual favorecen las temperaturas altas (45 a 75°C).

En la digestión anaerobia sólo el grupo Mesófilico resulta de interés dado que se ha probado, en simulaciones de rellenos, que la producción de metano se da cuando la temperatura se mantiene entre 30 y 40°C.

La temperatura externa ejerce su efecto sólo en las capas superiores del relleno, mientras en el perfil interior ésta es afectada por los procesos bioquímicos de la descomposición de los residuos (Kiss 1998).

En el fondo de un relleno con un flujo moderado de agua, el flujo de calor del relleno a los alrededores es pequeño debido a la capacidad de absorción de los desechos, y el calor generado por el proceso de descomposición anaerobio puede originar temperaturas altas en el relleno. En climas templados como el de la Provincia de Córdoba es posible que las temperaturas registradas en un relleno se encuentren en un rango de 30 a 45°C.

) **La tecnología aplicada en el sitio de disposición final:**

Afecta al desarrollo de los procesos de descomposición, influyendo en las condiciones del prevalecimiento de los factores ambientales, a través de la altura de las celdas, o bien, el perfil total del relleno, la tecnología de compactación y el tipo de cubierta.

Existen además algunas prácticas que consisten en recircular el lixiviado a la superficie del relleno, con el objeto de acelerar los procesos de degradación en el cuerpo de los residuos, y con el mayor aprovechamiento de la evaporación, la práctica incluso puede ser una opción para el tratamiento de este líquido altamente contaminante.

) **La edad del relleno:**

La composición del lixiviado y biogás depende no sólo de las características de los residuos dispuestos y de las condiciones ambientales y tecnológicas, sino también de la capacidad de reacción de los materiales depositados, la cual a largo plazo va disminuyendo.

Las experiencias demuestran que el contenido de elementos contaminantes, o bien la agresividad del lixiviado cambia en el tiempo, manifestando generalmente un rápido incremento inicial y luego una lenta disminución (Johannessen 1999).

) **Oxígeno:**

En cuanto a los procesos de descomposición de los residuos, su carácter aerobio o anaerobio es determinado por la presencia o falta de oxígeno dentro del relleno. En caso de suficiente oxígeno disponible, los microorganismos presentes en los residuos contribuyen a la descomposición aerobia de la materia orgánica. El proceso es fomentado parcialmente por el aire atrapado en el relleno, mientras las capas superficiales reciben cierta aireación incluso desde la atmósfera.

Por otro lado, la materia orgánica de los residuos también se descompone en ausencia de oxígeno (condiciones anaerobias), pero más lentamente que en condiciones aerobias. La descomposición anaerobia llega a prevalecer, después del agotamiento del aire atrapado, en las partes interiores del sitio de disposición final, que están aisladas de la recarga del aire proveniente de la atmósfera.

La influencia del ambiente externo aquí ya no prevalece; por lo tanto, los procesos bioquímicos de metabolismo microbiano pueden mantener la temperatura elevada. En estos niveles no hay posibilidad de evaporación al ambiente, y además la temperatura de 35 a 50 °C es inferior a la de las condiciones de oxidación (A.P.W.A. 1976), y con la descomposición anaerobia se produce cierta cantidad de lixiviado.

) **Hidrógeno:**

El hidrógeno es producido tanto por las bacterias fermentativas como las acetogénicas y la presión del hidrógeno generada afecta las rutas bioquímicas. Con bajas presiones de hidrógeno la bacteria fermentativa produce hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético y, con altas presiones de hidrógeno genera hidrógeno, dióxido de carbono, etanol, ácido bitríico y ácido propiónico.

3.5 - EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RSU

La degradación da inicio con macromoléculas como proteínas y aminoácidos, para la generación posterior de ácidos orgánicos, metano y dióxido de carbono, mientras se lleva a cabo una desnitrificación y la reducción de los diversos componentes, sobre todo de sulfatos.

Cabe mencionar que en un sitio de disposición final pueden existir condiciones mixtas o bacterias facultativas que respondan a ambos ambientes, favoreciendo al mismo tiempo la descomposición aerobia y anaerobia también.

Aunado a todo lo anterior, el sitio de disposición final está expuesto permanentemente a la precipitación pluvial, por lo que una cantidad considerable de agua de lluvia llega a infiltrarse en los residuos. Con la percolación del agua a través del relleno, ésta disuelve diferentes componentes de los residuos (lixiviación) y también se lleva los productos de la descomposición aerobia y anaerobia.

El líquido así generado (lixiviado), en su cantidad, es mucho más considerable que la de los líquidos generados en los otros procesos.

El lixiviado se acumula en el fondo del relleno, de donde debiera ser bombeado o conducido por gravedad a un tanque o vaso recolector para darle un adecuado tratamiento posterior.

En la siguiente Tabla 3. 2 se presenta un resumen de las condiciones y resultados de los procesos de descomposición.

Tabla 3. 2 - Condiciones y resultados de los procesos de descomposición de los residuos en un sitio de disposición final

PROCESOS	DESCOMPOSICIÓN AEROBIA	DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA	LIXIVIACIÓN
REQUISITOS	Oxígeno disponible menos humedad	Falta de oxígeno más humedad	Gran volumen de agua pluvial, cubierta permeable
TEMPERATURA	50 – 70 °C	35 – 50 °C	—
REACCIONES	Oxidación, Nitrificación	Reducción, Desnitrificación	Disolución, Hidrolisis
CONSECUENCIAS	Mineralización, esponjamiento	Consolidación, solidificación	Aumento de permeabilidad, Acumulación de contaminantes
PRODUCTOS	CO ₂ , H ₂ O, productos de Oxidación	Ácidos orgánicos, CH ₄ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, lixiviado	Lixiviado

(Fuente: Kiss y Mendoza 1998.)

En función del tiempo, el proceso de descomposición de los residuos puede dividirse en varias etapas.

Un ejemplo de ello es la clasificación según Tchobanoglous, en cinco fases de descomposición, como se ilustra en la Figura 3. 2 basada en una publicación del Banco Mundial (Tchobanoglous et al., 1994), en donde los diagramas se refieren a la evolución de las proporciones volumétricas de los principales componentes del biogás.

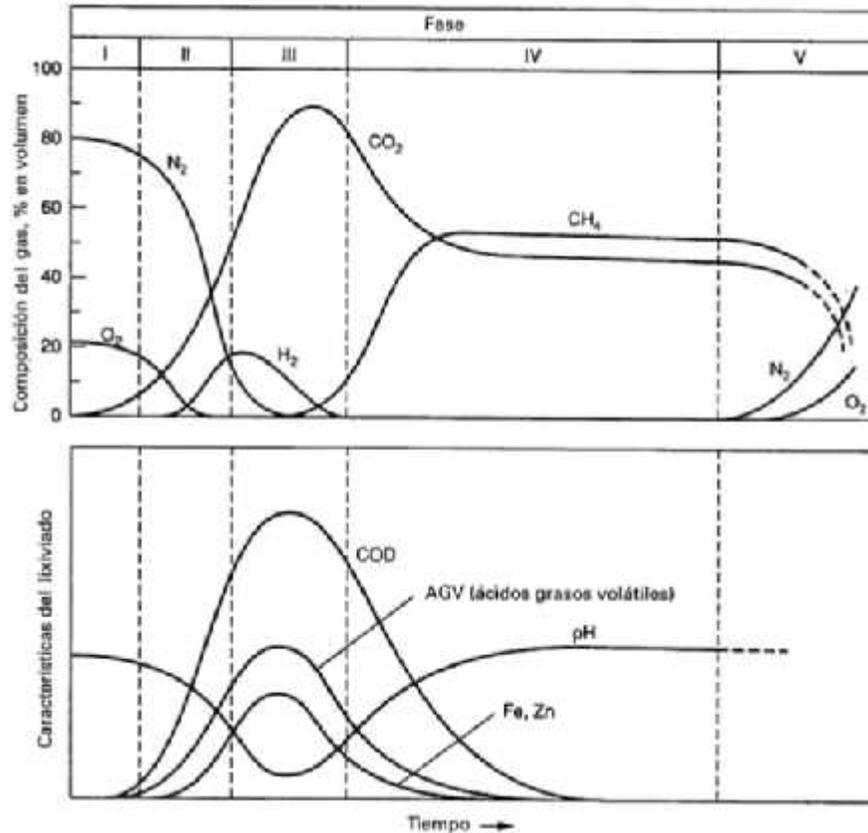


Figura 3. 2 - Evolución en el tiempo de las emisiones del vertedero.

(Tchobanoglous et al., 1994)

-) **La fase I** es una **etapa aeróbica** promovida por el aire atrapado en las celdas cubiertas en el relleno o vertedero. El oxígeno del aire, sin embargo, empieza a consumirse rápidamente, así como el nitrógeno, por los procesos de nitrificación. En consecuencia de la degradación aerobia de la materia orgánica, empieza a producirse dióxido de carbono, que se acompaña de una elevación de la temperatura. Esta fase dura hasta el agotamiento del oxígeno, abarcando por lo general un periodo de un par de semanas.
-) **La Fase II** es la llamada **fase ácida**, la cual es una transición a los procesos anaerobios, cuando la fermentación empieza a generar lixiviados con un alto contenido de ácidos orgánicos, lo que da lugar a un descenso significativo en el pH. Por otro lado, el biogás generado está constituido mayormente de dióxido de carbono y nitrógeno aún no consumido, aunado a la producción de un porcentaje menor de hidrógeno. En los lixiviados, la demanda química de oxígeno alcanza su concentración más alta, así como el amoníaco y los ácidos orgánicos también llegan a su máxima concentración.
-) **La fase III** es una etapa **metanogénica intermedia** en donde predominan las condiciones totalmente anaerobias. La proporción del metano se incrementa, mientras el contenido de dióxido de carbono decrece. Los ácidos grasos volátiles son transformados a biogás, y su concentración disminuye en el lixiviado. Esto conlleva a un aumento en el pH, mientras que la carga orgánica del lixiviado se reduce considerablemente.
-) **La Fase IV** es conocida como la **fase metanogénica estable**. Es un periodo anaerobio durante el cual se alcanza una máxima producción del metano, con una concentración estable en el biogás de alrededor del 55% en volumen. El contenido de dióxido de carbono es algo menor pero también estable, estando entre 40 y 50%. En el lixiviado se mantiene un pH elevado, con significativas concentraciones de amoníaco, y una carga orgánica decreciente medida por la demanda química de oxígeno.
-) **La fase V** es la etapa final de la **estabilización** de los residuos, con un carácter aerobio. Estas condiciones ocurren por lo regular en rellenos recién clausurados. La producción de metano decrece, y también el dióxido

de carbono se sustituye por nitrógeno y oxígeno conforme se introduce el aire atmosférico a través de las capas superficiales del relleno.

A partir de la segunda de las fases antes mencionadas, comienza la descomposición anaeróbica de la fracción orgánica.

Para completar el esquema general de como intervienen cada uno de los subproductos de descomposición en el proceso general, se describe a continuación en la Figura 3. 3, el comportamiento de cada uno de ellos.

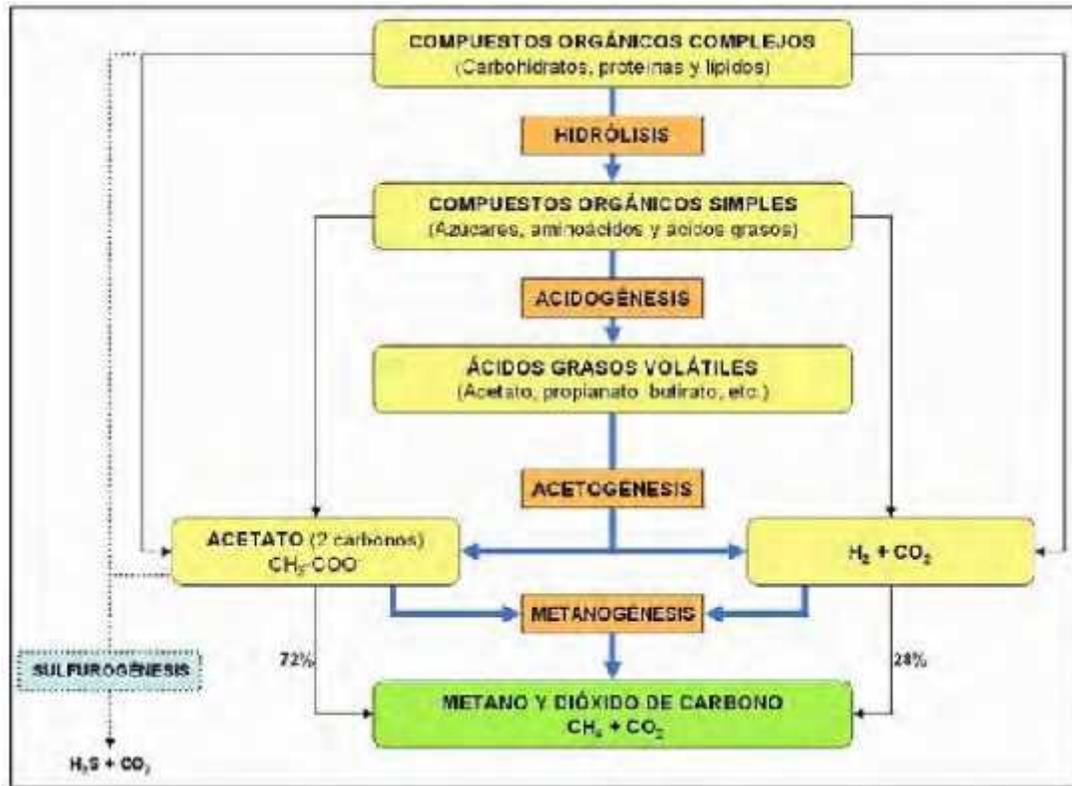


Figura 3. 3 - Etapas de la fermentación anaerobia (Fases II a V)

Fuente: Pavlostathis y Giraldo-Gómez, (1991). Adaptado de Pavlostathis, S.G., Giraldo-Gómez, E. (1991)

3.6 - PROPIEDADES DEL BIOGÁS

El biogás generado por la descomposición de los residuos en el relleno sanitario puede ser recuperado mediante la instalación de un sistema de captura de biogás que generalmente quema el biogás en antorchas.

Alternativamente, el biogás capturado puede ser usado benéficamente como combustible en equipo como moto generadores de combustión interna, micro turbinas, calderas, y otros equipos que usan el biogás para generación de energía eléctrica o térmica.

El poder calorífico promedio del biogás está entre 4.500 a 5.600 kilocalorías por m³. Si bien es menor que el poder calorífico del gas natural que está entre 8.800 a 10.200 kilocalorías por m³, su producción es totalmente natural y puede ser generado tanto en instalaciones industriales como domésticas.

En cuanto a su peligrosidad, el biogás y otros productos gaseosos, en teoría podrían ser explosivos por el metano que contienen, sobre todo si son emitidos a la atmósfera en forma incontrolada. Es sabido, sin embargo, que el riesgo de explosión existe si el metano está presente en el aire en ciertas proporciones (alrededor de 5 a 15% en volumen). Afortunadamente, estas situaciones son poco probables en los sitios de disposición final, ya que en el

interior del relleno la concentración del CH₄ normalmente está a un nivel mayor al límite indicado, mientras que en el exterior, debido al espacio abierto el riesgo de explosión se reduce considerablemente.

Se debe destacar que el mayor potencial de contaminación o impacto ambiental del biogás se origina de los posibles efectos ambientales de sus dos principales componentes (metano y dióxido de carbono). Considerando estos dos gases principales que constituyen el biogás en proporciones muy similares, se destaca que el metano posee un efecto de albedo 23 veces mayor al del dióxido de carbono, es decir, su contribución al calentamiento global sería mucho más considerable aún si su volumen proporcional fuese menor al acostumbrado. En los cálculos de emisiones totales de efecto invernadero, por lo tanto, se suele utilizar el valor de CO₂ equivalente aplicando los multiplicadores del potencial de calentamiento global arriba presentadas (ver Tabla 3. 3).

Tabla 3. 3 - Potencial de calentamiento global equivalente de diferentes gases de efecto invernadero.

GASES DE EFECTO INVERNADERO	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO EQUIVALENTE
Dióxido de Carbono (CO₂)	1
Metano (CH₄)	23
Óxido nitroso (N₂O)	296
Hexafluoruro de azufre (SF₆)	22.200
Hidrofluorocarburos (HFC)	120 - 12.000
Perfluorocarburos	5.700 - 11.990

Fuente: "Implicaciones de las propuestas de limitación de emisiones de CO₂."

(Tom M. L. Wigley *et al.* Octubre de 1997)

La producción de biogás en un vertedero es variable en el tiempo, con un máximo alrededor de los 3-5 años tras el vertido (dependiendo de la composición del vertido).

El proceso de degradación de la materia orgánica puede durar más de 20 años:

- Los residuos de comida se degradan en un 50% en 1-2 años.
- Los residuos de jardín se degradan en unos 5 años.
- Los residuos de papel, madera y textiles se degradan en unos 15 años.
- Los residuos como plásticos y gomas no se descomponen.

Una tonelada de RSU con un contenido de materia orgánica del 50% genera aproximadamente 200 m³ de biogás. Pese a esto, no es posible captar todo el biogás generado ya que un 30-35% del mismo se perderá a través de la superficie del vertedero.

Algunas de las características más relevantes del Biogás detallan en la siguiente Tabla 3. 4

Tabla 3. 4 - Características del BIOGÁS de Vertedero

CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS	
TEMPERATURA	35°C- 40°C
PESO ESPECÍFICO	0,95
PODER CALORÍFICO (kJ/Nm ³)	18.000
PRODUCCIÓN (Nm ³ /Tn _(RSU))	200
RENDIMIENTO DE CAPTACIÓN (%)	65% . 70%
CONTENIDO DE ENERGÍA	6,0 – 6,5 kWhm ⁻³
EQUIVALENTE EN COMBUSTIBLE	0,60 – 0,65 L petróleo/m ³ biogás
LÍMITES DE EXPLOSIÓN	6-12 % biogás en aire
TEMPERATURA DE IGNICIÓN	650-750°C (con el contenido de metano mencionado arriba)
PRESIÓN CRÍTICA	75-89 bar
TEMPERATURA CRÍTICA	-82,5 °C
DENSIDAD NORMAL	1,2 kgm ⁻³
MASA MOLAR	16.043 kgkmol ⁻¹

Fuente: "Tecnologías Avanzadas de Generación Eléctrica. Plantas Biogás Vertedero". Octubre 2001. EVE Vasco de la Energía

La producción de biogás para cada tipo de sustrato es variable en función de su carga orgánica y de la biodegradabilidad de la misma.

En general, los residuos orgánicos industriales y la fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) presentan potenciales elevados de producción. Los residuos ganaderos y los lodos de depuradora presentan, sin embargo, potenciales menores, debido al relativamente bajo contenido en materia orgánica y a la baja biodegradabilidad de la misma.

Existen procesos que permiten mejorar la eficiencia en la producción de biogás de estos residuos:

- Codigestión: Mezcla con residuos de mayor producción potencial.
- Pretratamiento para mejorar la degradabilidad del sustrato.
- Aumento de la temperatura para mejorar la velocidad de crecimiento de los microorganismos y la eficiencia de la fase hidrolítica.

3.6.1 - EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS DEL BIOGÁS.

El biogás, cuya composición depende fundamentalmente del tipo de sustrato utilizado y digerido en el proceso, y su alta concentración en metano (CH₄), de elevada capacidad calorífica (5.750 kcal / m³), le confiere características combustibles ideales para su aprovechamiento energético en motores de cogeneración, calderas, turbinas, pudiendo por tanto generar electricidad, calor o ser utilizados como biocarburantes.

La equivalencia energética del biogás depende de la concentración de metano que haya en él, ya que el poder calorífico del CO_2 es nulo. Así cuanto mayor sea la cantidad de metano en el biogás, mayor será el poder calorífico del mismo.

) GAS NATURAL:

De manera aproximada, se puede constatar que el gas natural tiene un contenido en metano (CH_4) del 100%.

- 1 Nm^3 de Gas Natural = 11 kWh
- $1 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4$ = 10 kWh

) BIOGÁS:

- 1 Nm^3 de biogás (97 % de metano) = 9,67 kWh
- 1 Nm^3 de biogás (65 % de metano) = Energía de $0,65 \text{ m}^3$ de gas natural

) COMBUSTIBLES:

- 1 litro de Gasolina = 9.06 kWh
- 1 litro de Diesel = 9.8 kWh

) ENERGÍA ELÉCTRICA:

El rendimiento eléctrico de un motor es del 40 –45%

- 1 m^3 de biogás = 2,8 kWh de energía eléctrica renovable.

Fuente: El sector del biogás agroindustrial en España. Mesa sobre materia prima agraria y biocombustibles. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid 16 Septiembre de 2010.

3.6.2 - PROYECCIÓN DE EMISIONES

Según proyecciones de emisiones de gas metano generado por los rellenos sanitarios municipales en el mundo (USEPA, 2006), las mismas tenderán a incrementarse de 747.4 millones de toneladas métricas de equivalente de dióxido de carbono (MtCO_2eq) generadas en 2005 a 816.9 MtCO_2eq para el año 2020, o un 9.2% de incremento (ver Tabla 3. 5).

Si el incremento global de emisiones de metano ocasionado por los rellenos sanitarios pareciese limitado, nótese de la Tabla 3.5 como los incrementos por país son muy diferenciados. Incluso en algunos las emisiones se reducirán (EUA, Sudáfrica) debido a cuestiones económicas y/o de despoblamiento. Pero en los países emergentes y en desarrollo las emisiones aumentan de niveles tolerables a alarmantes. Ejemplo de ello son el Congo, Ucrania, India, Canadá, Brasil, entre otros. Para el caso de México las emisiones de metano de 2005 al 2020 se incrementan de 33.3 a 39.2 MtCO_2eq , o un 17%.

Globalmente, los rellenos sanitarios son la tercera fuente antropogénica más grande de metano teniendo un 13% de las emisiones de Metano.

Tabla 3. 5 - PROYECCIÓN DE EMISIONES DE GAS METANO DE LOS RELLENOS SANITARIOS MUNICIPALES POR PAÍS: 2005-2020 (en MtCO₂eq)

PAÍS	2005	2010	2015	2020
Estados Unidos	130.6	125.4	124.1	123.5
China	46.0	47.5	48.8	49.7
México	33.3	35.5	37.4	39.2
Canadá	25.3	27.7	30.7	33.6
Rusia	34.2	33.2	32.2	31.1
Arabia Saudita	19.4	22.1	24.8	27.5
India	15.9	17.1	18.1	19.1
Brasil	16.6	17.5	18.3	19.0
Ucrania	13.4	14.7	16.4	18.0
Polonia	17.0	17.0	17.0	17.0
Sudáfrica	16.8	16.6	16.4	16.2
Turquía	10.4	11.0	11.6	12.1
Israel	9.7	10.6	11.3	11.9
Australia	8.7	9.4	10.6	11.9
Rep. Dem. del Congo	7.4	8.6	9.8	11.2
Resto del Mundo	342.7	346.7	360.5	375.9
Total Mundial	747.4	760.6	788.1	816.9

Fuente: USEPA, 2006. MtCO₂eq = millones de toneladas métricas de equivalente de dióxido de carbono

3.7 - TÉCNICAS PARA EL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

En general, el destino del producto final de la descomposición de RSU (el biogás), posee tres alternativas posibles de gestión:

- Ser liberado a la Atmosfera (no se considera como aprovechamiento).
- Ser captado y quemado con el objetivo de aminorar su polución.
- Ser captado y aprovechado energéticamente.

Tanto para la quema como para su aprovechamiento energético, el esquema general de producción y captación de biogas podría describirse sucintamente en la siguiente Figura 3. 4.

3.7.1 - ASPECTOS TECNOLÓGICOS

Las aplicaciones energéticas del uso del biogás pueden ser eléctricas o térmicas, si bien en ocasiones se producen los dos tipos conjuntamente en plantas de cogeneración. La generación eléctrica empleando biogás como combustible se realiza empleando motores de combustión interna especialmente adaptados para quemar un gas de las especiales condiciones de éste, con un bajo poder calorífico y una composición química que se separa de la habitual en combustibles similares como el gas natural.

Este tipo de aplicación se caracteriza por sus altos niveles de inversión, si bien el principal interés en el desarrollo de este tipo de proyectos radica en su componente ambiental, más que en sus perspectivas de rentabilidad. La combustión de biogás para uso térmico es actualmente menos frecuente que la aplicación eléctrica, y se concentra sobre todo en las instalaciones de producción de biogás a partir de residuos industriales biodegradables.

Este calor suele ser empleado para la calefacción del digestor, que debe ser mantenido en un rango de temperatura determinado, y de haber excedentes estos se dirigirían a otros usos dentro de la planta industrial o, en su caso, a la exportación a otras industrias, aspecto poco frecuente en nuestro país.

Un esquema de instalación frecuente es el que incluye una zona de adecuación aprovechamiento energético del biogás, donde se acondiciona el biogás como paso previo a la entrada de éste en un motor (ver Figura 3. 4).

La electricidad generada por éste es vendida a la red dentro del marco que proporciona el régimen especial de producción eléctrica, mientras que el calor del circuito de refrigeración de alta del motor es empleado en el calentamiento de los digestores.

Por último, el calor contenido en los gases de escape del motor es evacuado a la atmósfera.

Las perspectivas de evolución de la tecnología de aprovechamiento energético del biogás incluyen el perfeccionamiento de la digestión anaerobia de volúmenes pequeños de residuo, la posibilidad de emplear conjuntamente en los procesos de digestión lodos de aguas residuales y de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, así como el enriquecimiento del biogás a través de la digestión conjunta con materiales no residuales.

El objetivo de estos procesos es siempre el aumento del rendimiento de la tecnología de digestión anaerobia para la producción de biogás así como incrementar la calidad de éste, en especial por lo que respecta a su poder calorífico.



Figura 3. 4 - Esquema proceso de aprovechamiento de Biogás

(Monroy, 1977)

Por *cogeneración* se entiende el sistema de producción conjunta de energía eléctrica y de energía térmica recuperada de los gases de escape del motor. De esta forma, se hace un uso más completo de la energía, que la lograda mediante la generación convencional de electricidad, donde el calor generado en el proceso se pierde.

Actualmente, existen distintas técnicas aplicables en los vertederos, mediante las cuales es posible realizar un aprovechamiento más eficiente de este gas, entre las cuales podemos destacar:

- Enriquecimiento de oxígeno con tecnología de membranas.
- Enriquecimiento de metano con tecnología de membrana.

3.7.2 - ENRIQUECIMIENTO DE OXÍGENO CON TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS

El desarrollo de este sistema denominado "*Lean Caloric Gas-Utilization (LCG-U)*" se basa en la tecnología de separación de gases mediante membranas.

Se utilizan membranas de disolución/difusión sin poros de altas efectividad, compuestas por una capa activa y una capa portadora de material de polímero, en las que la velocidad de difusión o bien la velocidad de transporte de las moléculas a través de las membranas es diferente para cada gas. Esto posibilita una separación entre diferentes gases y así obtener una mayor/menor concentración de los gases individuales de una mezcla en el rechazo/permeado.

Así, en el aire que pasa por la membrana (permeado) se elimina el contenido en nitrógeno lo que conlleva una concentración en oxígeno, posibilitando una perfecta combustión del gas en el motor.

Debido a la flexibilidad de esta tecnología, el diseño y las plantas necesarias pueden ser ajustadas a la situación individual de cada cliente fácilmente (Fuente: Peters, 2003).

3.7.3 - ENRIQUECIMIENTO DE METANO CON TECNOLOGÍA DE MEMBRANA

Otra posibilidad es el enriquecimiento de metano con tecnología de membrana, donde se utiliza un sistema de membranas similar al anterior.

En este caso, el permeado se enriquece en CO_2 y se re infiltra al vertedero mediante pozos de infiltración mientras que el rechazo de la membrana es un gas enriquecido en metano y oxígeno. Con este procedimiento se puede obtener una reducción importante del periodo de la fase post-clausura a causa de una degradación acelerada de materia orgánica. Los resultados obtenidos con esta tecnología conllevan un ahorro de capital y una mejora de la rentabilidad para el explotador del vertedero (Fuente: Peters, 2003).

3.8 - BIODIGESTORES

Un biodigestor es un depósito hermético que permite la fermentación de la materia orgánica de manera anaerobia produciendo biogás y estabilizando la materia procesada biológicamente;

Un Biodigestor típico cuenta con varias zonas, a saber:

- a) Zona de retención de materia orgánica.
- b) Zona de almacenamiento del biogás generado.
- c) Zonas de cargue y descargue.

El biodigestor acelera el proceso de digestión de la materia orgánica biodegradable a corto plazo, especialmente de desechos de alimentos, la cual normalmente representa más del 50% de los RSU (ICONTE, 1999); de esta forma se logran cumplir los tres primeros propósitos arriba anotados, de manera rápida y segura; el cuarto propósito se alcanza al reciclar los residuos que no se vean afectados en mayor medida por el proceso de digestión anaerobia: plástico, caucho, papel, cartón, y metales, entre otros.

El material que no es posible recuperar se deposita en el relleno sanitario, mientras que los lixiviados se almacenan en depósitos apropiados para su posterior tratamiento de disminución de su efecto contaminante;

también pueden ser enviado al relleno sanitario, mientras se realizan más investigaciones para lograr su posterior recuperación y utilización.

Fuente: "biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos", Germán López Martínez, Septiembre de 2003.

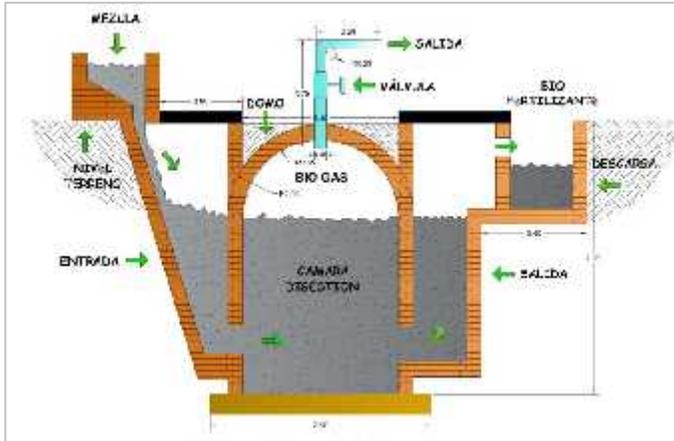


Figura 3.6 - Partes de un Biodigestor



Figura 3.5 - Biodigestor de RSU

(Monroy, 1977)

Depositar los RSU en biodigestores grandes, se presenta como una alternativa eficiente para el tratamiento de RSU ya que son especialmente diseñados y construidos para lograr los siguientes propósitos:

- a) Obtener el biogás de manera rápida y controlada;
- b) Separar y controlar los lixiviados generados;
- c) Estabilizar la materia orgánica;
- d) Permitir la recuperación posterior (fuera del biodigestor) de los desechos sobrantes, libres de materia orgánica inestable, por medio de procesos posteriores de reciclaje.

En la siguiente Figura 3.7 se aprecia el proceso alterno en el manejo de los RSU, a través del uso de Biodigestores.

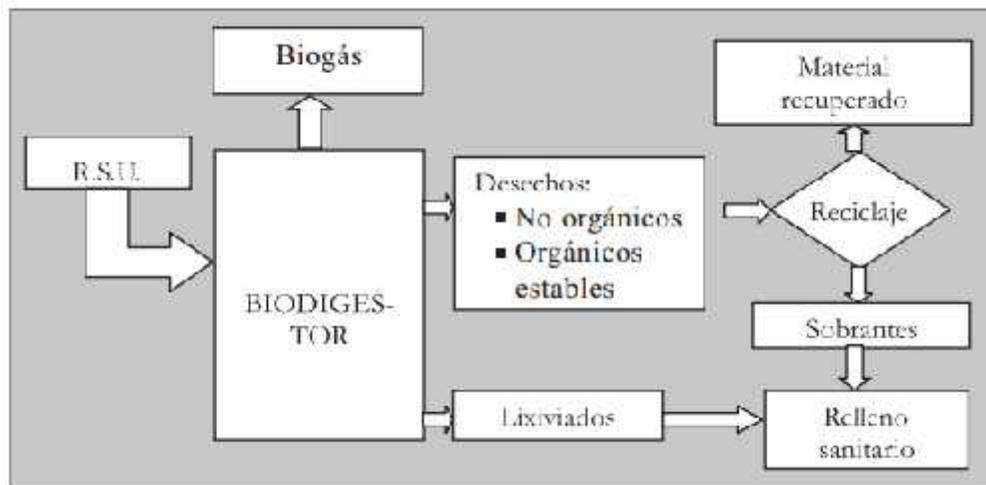


Figura 3.7 - Esquema de tratamiento con Biodigestor

(Germán López Martínez, Septiembre de 2003)

Se describe aquí el proceso de digestión de los RSU en biodigestores, los cuales aceleran el proceso natural que sucede en rellenos sanitarios para obtener biogás como combustible, además de estabilizar los RSU restantes para su recuperación posterior.

3.8.1 - CLASIFICACIÓN DE BIODIGESTORES

los biodigestores se clasifican según su forma de operación y frecuencia de carga:

-) Continuos y Estacionarios
-) Semi-continuos
-) Discontinuo (Tipo Batch).

Los **biodigestores continuos** se cargan y descargan en forma periódica, por lo general todos los días. Los estacionarios son cargados de una vez y se vacían por completo después del tiempo de retención prefijado. Los biodigestores del tipo continuo más comunes son: *desplazamiento horizontal*, *tanques múltiples* y *tanque vertical* (Ludwig, 1984).

Los del tipo **Semi-continuo**, se cargan en lapsos cortos como de 12 horas, 1 vez al día, o cada dos días, se utiliza cuando la disponibilidad de materia orgánica es constante en los días. Los principales, son el Hindu, el Chino, y el Taiwanés, cada uno con ventajas y desventajas, dependiendo si se quiere aprovechar más el biogás, o el biol (fuente de fitoreguladores).

Los del tipo **continuo** se cargan continuamente, y principalmente tienen la finalidad de tratamiento de aguas negras, como así también para la producción de biomasa a gran escala. Este sistema requiere el manejo de mayor tecnología para el calentamiento del sustrato, control de la calidad del gas resultante, plantas enteras de desulfuración, grandes compresoras, cadenas de distribución, plantas de almacenamiento, antorcha de desfogue y un suministro constante de materia orgánica.

El depósito de gas debe estar dimensionado de tal manera que pueda almacenar todo el gas que se produzca durante la fermentación (ITINTEC, 1983).

3.8.2 - EFICIENCIA DE LA FERMENTACIÓN EN BIODIGESTORES

El proceso de digestión y su eficiencia están determinados por los siguientes factores:

-) La **temperatura** influye directamente sobre la velocidad de generación de biogás en los biodigestores.

Existen tres intervalos de temperatura en los cuales las bacterias anaeróbicas pueden operar (Tabla 3. 6):

Tabla 3. 6 - Temperaturas de operación de las bacterias

Temperaturas	Bacterias
Superiores a 35°C	Termofílico
Entre 15°C y 35°C	Mesofílico
Entre 0°C y 15°C	Psicrofílico

(Hartz K, 1981)

La experiencia ha demostrado que en el intervalo Termofílico se presenta mayor velocidad de fermentación que en el Mesofílico, y en éste más que en el Psicrofílico. Esto significa que el tiempo de retención de los desechos orgánicos en el digestor aumenta con la disminución de la temperatura. En el rango Termofílico, el máximo rendimiento se obtiene a una temperatura cercana a los 55°C y en el Mesofílico a los 35°C (Hartz, 1981).

-) El **tiempo de retención**, o el número de días que determinada cantidad de desechos debe permanecer dentro del digestor. Este factor está correlacionado con la temperatura ambiente promedio del sitio; cuando ésta es alta se puede aplicar un tiempo de retención corto, y cuando es baja se requerirán tiempos de retención más largos.

Entre más largo es el tiempo de retención de la materia biodegradable al interior de un biodigestor, más alto es el contenido de metano y con esto el poder calorífico del biogás; con tiempos de retención cortos el contenido de metano puede disminuir hasta en un 50%; con un contenido de metano inferior al 50%, el biogás deja de ser inflamable (Hartz, 1981). A manera de ejemplo, en la Tabla 3. 7 se relacionan tiempos de retención en función de la temperatura ambiente, cuando se emplean desechos de origen animal (House, 1978).

Tabla 3. 7 - Tiempos de retención de materia orgánica

Temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
37	45
32	60
28	90

(House, 1978)

-) El **pH** en los biodigestores está en función de la concentración de bióxido de carbono en el gas y de ácidos volátiles, y de la propia alcalinidad o acidez de la materia prima. Las bacterias involucradas en el proceso son altamente sensibles a cambios en el pH. La franja de operación está entre 6 y 8, teniendo como punto óptimo un pH de 7 (House D, 1978).
-) El contenido **de humedad** es otro factor que afecta el tiempo de fermentación (Noriega, 1989). Unas temperaturas altas y constantes (por ejemplo más de 33°C), unos tiempos largos de retención (por ejemplo 100 o más días) y un buen mezclado de materia orgánica, influyen positivamente en la producción de gas. Temperaturas bajas y oscilantes (15-25°C), tiempos de retención cortos (p.ej. menos de 30 días) y un mal mezclado de la materia orgánica influyen negativamente en la producción de gas (Chaur, J. 1982).

Para llevar a cabo esta clase de tratamiento los microorganismos biológicos son de importancia primordial, por necesitar de compuestos orgánicos como fuente de carbono y de energía. La fracción orgánica de los RSU contiene normalmente cantidades adecuadas de nutrientes (orgánicos e inorgánicos) para soportar la conversión biológica de los residuos (Pohland, 1987).

En un biodigestor se evita la fuga del lixiviado, y por lo tanto se dispone de él para ayudar a la producción del biogás; también reduce el tiempo del proceso fermentativo, y los ácidos generados que se escapan con el lixiviado son utilizados por las bacterias metanogénicas presentes en los desechos para la producción del biogás (Lee, 1993).

Los microorganismos metanogénicos no se encuentran en grandes cantidades de manera natural en los RSU originales; por lo tanto la producción del biogas en un relleno sanitario es lenta al principio, mientras las poblaciones naturales se multiplican (Berlaz, 1992). Una de las ventajas de utilizar el biodigestor es poder agregar sustancias que contengan microorganismos metanogénicos o que promuevan su reproducción, para acelerar aún más el proceso de la fermentación. Una de tales sustancias, usada como nutriente, son los lodos anaerobios provenientes de las plantas de tratamientos de aguas residuales; ellos contienen gran cantidad de bacterias metanogénicas (Alazard, D. 1997) (Barozzi. 1991).

3.8.3 - BIOGÁS DE DIGESTORES

Cuando la materia orgánica contenida en los RSU se utiliza como sustrato de la fermentación anaeróbica, el proceso se denomina biometanización o biogásificación.

En este proceso, la materia orgánica se transforma en biogás y en una fracción sólida más pobre que el compost, que también puede utilizarse como mejorador de suelo.

Antes de la digestión anaeróbica en las plantas de biometanización es necesario realizar un pretratamiento, que consiste en la separación de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) y su trituración para reducir la fracción biodegradable a un tamaño adecuado y homogéneo, que facilite la biometanización.

Las etapas del proceso de aprovechamiento de biogás generado tanto en el vertedero como en los biodigestores son:

1. **Mezclador:** En esta instalación se mezcla con el gas de vertedero, el procedente de la biodigestión y el gas natural (caso de que fuese necesario).
2. **Motores:** Se dispondría de motores, que funcionan por combustión interna, en los cuales entra el biogás, mezcla del obtenido por desgasificación del vertedero, de los biodigestores y con gas natural (en caso de que fuese necesario, y en una proporción que nunca podría superar un máximo).
3. **Alternador:** La misión principal del alternador consiste en transformar la energía mecánica generada como consecuencia del movimiento de los cilindros durante la combustión de los gases en los motores en energía eléctrica.
4. **Transformador:** Es un dispositivo que se encarga de “transformar” el voltaje de corriente alterna que tiene a su entrada en otro diferente que entrega a su salida.
5. **Antorchas:** La antorcha de vertedero se utilizarían o bien cuando dicho gas no es de buena calidad, quemándose en este caso hasta que la riqueza del gas alcanza un grado lo suficientemente bueno para meterlo a motores, o bien cuando se produzca una parada, emergencia o avería en la instalación de generación (problema eléctrico, de automatización de los propios motores, etc.) por las que se haga necesario darle salida a dicho gas.

3.8.4 - IMPACTO AMBIENTAL DEL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS DE VERTEDERO

Durante la generación de biogás en los vertederos se detecta la presencia de concentraciones significativas de ácido sulfhídrico (H_2S) y siloxanos, que influyen en los posteriores sistemas de aprovechamiento energético de biogás (Fuente: Peters, 2003; Beyebach, 2005).

EL ACIDO SULFIHÍDRICO

El ácido sulfhídrico, habitual en el biogás en concentraciones de 200 a 4000 ppm, es un compuesto nocivo, ya que ataca los elementos metálicos de toda la planta, teniendo una mayor influencia en los puntos o zonas de mayor temperatura. Por lo tanto, se han desarrollado una gran variedad de métodos para su eliminación.

- Métodos Tradicionales
- Métodos Biotecnológicos

Los métodos tradicionales son los físico-químicos: separación con membrana, adsorción, absorción, etc. Estos métodos son eficientes, aunque resultan caros y presentan el inconveniente de que se pueden formar contaminantes secundarios, que tienen que ser tratados o eliminados.

Últimamente, los métodos biotecnológicos han experimentado un gran desarrollo debido a su gran eficiencia, su reducido coste de inversión, su menor requerimiento de energía y a que no producen contaminantes secundarios.

LOS SILOXANOS Y OTROS COMPUESTOS DE SILICIO

Los siloxanos y otros compuestos de silicio pueden formar deposiciones (cristalizaciones) que son especialmente peligrosas en las cámaras de combustión de los grupos generadores.

Una forma de eliminar este tipo de compuestos se puede efectuar con carbón activo, debiendo instalar normalmente con esta unidad un sistema de deshumidificación para reducir el contenido de agua en el biogás.

Aplicado en vertederos, este sistema también puede contribuir a la optimización del aprovechamiento energético del biogás. Cabe indicar que este tipo de contaminantes no sólo se encuentra en el biogás obtenido de los vertederos sino que, por ejemplo, también tiene especial importancia en el caso de los gases obtenidos en las depuradoras.

Además del metano y dióxido de carbono, el biogás también está formado por determinadas impurezas en pequeñas proporciones. Estas impurezas y sus efectos se reseñan en la Tabla 3. 8, que se muestra a continuación.

Tabla 3. 8 - Sustancias contaminantes en el biogás y sus efectos

SUSTANCIA	EFECTOS
H₂S	Corrosión Toxicidad Formación de ácido sulfúrico
Agua	Formación de condensados Formación de soluciones ácidas
CO₂	Reducción de poder calorífico
Partículas	Decantación Obturación
NH₄	Formación de óxidos de nitrógeno durante la combustión

Fuente: El sector del biogás agroindustrial en España. Mesa sobre materia prima agraria y biocombustibles. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid 16 Septiembre de 2010.IDAE

DESHUMIDIFICACIÓN

La deshumidificación es un proceso de reducción del agua presente en el biogás, por condensación. El gas, pasa a través de unos tubos refrigerantes que condensan el agua.

Existen otros métodos de deshumidificación menos habituales, como por ejemplo el filtrado del gas, el enfriamiento con agua a una temperatura de 4°C, etc.

ELIMINACIÓN DE CO₂

En el caso en el que se utilice el biogás para cualquier otro proceso que no sea su valorización en motores de cogeneración, será necesaria la eliminación del dióxido de carbono.

Los métodos posibles de eliminación de CO₂ del biogás son (los métodos que a continuación se presentan, están ordenados en orden creciente en cuanto a su coste y eficiencia):

- Lavado con agua del CO₂.
- Lavado con disolventes orgánicos.
- Filtración en carbón activo (el gas circula por el carbón activo, donde se retiene el CO₂).
- Separación por membranas (proceso de alta efectividad).

- Separación criogénica de las materias según el punto de ebullición.

3.9 - ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PROCEDENTE DE RELLENOS SANITARIOS

La estimación del biogás emitido desde sitios de disposición final de residuos sólidos es, además de ser uno de los objetivos previstos en el Protocolo de Kioto, conforma el eje fundamental de este proyecto, ya que de hecho, resulta fundamental evaluar la contribución de los rellenos sanitarios, tiraderos y plantas de compostaje a lo largo del tiempo por la producción de biogás, así como establecer medidas que puedan adoptarse para la reducción de los gases emitidos. Sin embargo, la evaluación de las emisiones de biogás de los rellenos sanitarios resulta compleja, debido a que se trata de múltiples fuentes con una alta variabilidad espacial y temporal.

Es preciso aclarar que los rellenos sanitarios poseen dos fases en su vida útil: etapa de funcionamiento, cuando los residuos sólidos urbanos son depositados y degradados en estos sitios, y etapa de clausura, cuando se alcanza la máxima capacidad de almacenamiento de residuos sólidos. En su etapa de operación los rellenos sanitarios emiten mayor cantidad de metano con respecto a los rellenos clausurados, esto se debe a que la degradación de la materia orgánica ocurre en su mayoría en los primeros años (de 2 a 5 años).

Sin embargo tras el cierre, un relleno sanitario continúa con la generación y emisión de biogás, posiblemente por varios cientos de años. La producción de biogás en las primeras etapas de vida de un relleno sanitario puede ser mínima durante varios meses, sin embargo, en rellenos sanitarios con una vida útil media o recientemente clausurado la producción se puede encontrar en su máxima capacidad, tardando varios años en dejar de producir este biogás, incluso aun después de clausurado el relleno.

Se ha estimado de forma teórica que la cantidad de biogás generado a partir de una tonelada de carbono biodegradable equivale a 1868 Nm^3 (Normal = Nm^3 de metros cúbicos). Para países industrializados, el potencial de biogás que puede ser generado de los residuos sólidos municipales es de aproximadamente 370 Nm^3 , aunque esta cantidad se encuentra determinada por diversos factores, anotando que se carece de datos relacionados para países en desarrollo.

Debido a estos aspectos y a la degradación biológica incompleta, generalmente se acepta que un volumen máximo aproximado de 200 Nm^3 de biogás puede generarse a partir de una tonelada de residuos sólidos urbanos dispuestos en el relleno sanitario.

En India, algunos estudios estiman que los rellenos sanitarios contribuyen aproximadamente con el 80% de las emisiones totales de metano en Delhi, con valores que oscilan entre 83 y 138 GT/año. Se reportó que sólo entre 25-30% del biogás disponible en la capital de India, producto de la disposición de residuos sólidos, puede ser recuperado y el resto escapa a través de grietas y hendiduras a lo largo de la periferia del relleno sanitario; este informe también concluyó que los residuos sólidos depositados pueden producir un promedio de $95 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$ /tonelada, con un poder calorífico de $19,43 \text{ MJ/m}^3$ y asumiendo una eficiencia de conversión del 25% y una eficiencia de generación global del 80%, la energía eléctrica puede ser producida a partir del biogás a una tasa de $12,98 \times 10^5 \text{ kWh/año}$.

Fuente: "Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Ingeniería de Residuos Ingeniería de Residuos Barranquilla", 24 y 25 de septiembre de 2009.

3.9.1 – PERDIDAS EN SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE BIOGAS

Diversos factores en la práctica influyen en la posibilidad de capturar el volumen total del biogás generado, siendo los más importantes:

-) Pérdidas de biogás a la atmósfera a través de la superficie o de la migración lateral del gas.
-) Pérdida de pre-clausura, debido a la descomposición de material orgánico en condiciones aeróbicas.
-) Efectos de frontera que causan la descomposición anaeróbica incompleta de la capa próxima a la superficie (por ejemplo, intrusión de aire debido a la extracción de gas).
-) Otras pérdidas tales como lavado de carbono orgánico a través de los lixiviados.

Según Johannessen, L. M., (1999), estas pérdidas registran valores significativos, que incluso en coberturas bien diseñadas, algunos rellenos sanitarios alcanzan a recuperar aproximadamente el 60% del biogás disponible, considerando la tasa de recuperación en un rango de 40 - 50% en volumen (ver Figura 2).

El mayor rendimiento de biogás generado en la práctica es de aproximadamente 100 Nm³/toneladas de residuos en el sitio de disposición de residuos sólidos, generados entre 15 y 20 años; sin embargo, mediante la implementación de técnicas de optimización en el relleno sanitario, se podrá obtener igual rendimiento de biogás por tonelada de residuos, pero con una producción obtenida durante un período de tiempo mucho más corto (5-10 años) y en consecuencia, el flujo promedio anual de biogás será hasta cuatro veces mayor durante este tiempo.

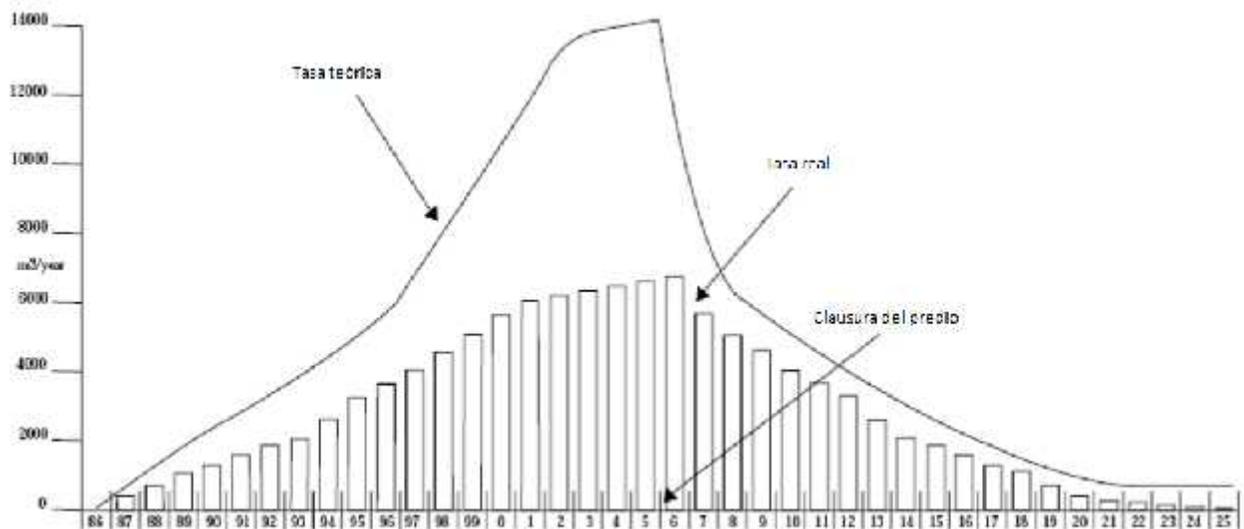


Figura 3. 8 - Tasa de producción de biogás en un relleno sanitario

Johannessen, L. M., (1999).

Estudios a nivel mundial presentan las estrategias para recuperación del biogás y su uso como energía alternativa.

Es el caso de la India, donde la cantidad total de energía recuperada para la generación de electricidad a partir del biogás de los rellenos sanitarios Bhalswa, Gazipur y Okhala de la ciudad de Delhi, se calcula para eficiencias de operación baja (50%), media (75%) y alta (100%) de su capacidad total de tratamiento, con proyecciones que se presentan para el año 2010 a 2025 (ver Tabla 3. 9), concluyendo que la producción de electricidad a partir de diferentes opciones de tratamiento reduce la carga de fuentes convencionales como el carbón y reduce indirectamente la emisión de gases de efecto invernadero.

Tabla 3. 9 - Proyecciones de generación de electricidad a partir de biogás en diferentes eficiencias de operación

AÑO	PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (MWh)		
	Eficiencia de Operación		
	100%	75%	50%
2007	16.251	15.060	13.869
2010	72.544	67.777	63.010
2015	270.966	231.381	191.796
2020	331.575	273.122	214.670
2025	399.852	340.186	280.519
Total	1.091.188	927.526	763.864

(Fuente: Adaptada de Talyan V., R.P. Dahiya, S. Anand, T.R. Sreekrishnan. 2007. "Quantification of methane emission from municipal solid waste disposal in Delh")

La eficiencia de recuperación de biogás depende de la composición de los residuos y del contenido de humedad. Las corrientes de residuos con bajo contenido de fracción orgánica, por ejemplo, residuos de alimentos, resultan con menor eficiencia de captura, que otros con mayor contenido de carbono orgánico como los residuos de papel o los lodos, capaces de lograr una mayor eficiencia de captura debido a la cantidad de biogás producido.

El aprovechamiento de biogás en sus diferentes formas se lleva a cabo a escala comercial desde hace muchos años en un importante número de países, como se resume en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1 - Potencial del biogás proveniente de los rellenos sanitarios en algunos países de Europa

Países europeos	Biogás (m ³ /año)	Energético como petróleo (ton métricas)	Toneladas de J/año
Bélgica	192	91	3,8
Dinamarca	105	50	2,1
Alemania	2050	966	41,0
Francia	874	413	17,0
Grecia	370	175	7,3
Irlanda	180	85	3,6
Italia	1040	490	20,0
Países bajos	560	365	11,0
Portugal	172	82	3,4
España	848	400	17,0
Reino Unido	2520	1200	50,0
Comunidad Europea	8911	4271	176,3

Fuente: "The Changing Direction of European Landfills", WORLD WASTES. Maggie Thurgood 1999.

3.10 - APROVECHAMIENTO O QUEMA DEL BIOGÁS EN RELLENOS SANITARIOS

A continuación se enumeran las etapas básicas de un Resumen Ejecutivo, como herramienta indispensable para el tratamiento de un proyecto de captación/quema de Biogás:

1. Análisis de la Situación Actual del Relleno Sanitario
2. Generalidades (Levantamiento geofísico, caracterización de lixiviados, caracterización de residuos sólidos, etc.)
3. Estudios Previos
4. Residuos Sólidos Generados
5. Residuos Dispuestos e Infraestructura del sitio
6. Evaluación Técnica de Producción de Biogás y Arreglo de Captación
7. Perforación de Pozos de Prueba
8. Prueba Estática de Largo Plazo (Determinación de la calidad de biogás)
9. Arreglo técnico de Captación y Conducción de Biogás
10. Prueba Dinámica de Corto y Largo Plazo
11. Diseño de las afectaciones a realizar al relleno sanitario
12. Características de los Sistemas de Captación y Conducción de Biogás
13. Cálculo de la Reducción de Emisiones Contaminantes
14. Mercado de Bonos de Carbono
15. Evaluación Económico Financiera (generación de energía eléctrica o quema de biogás)
16. Evaluación de la Viabilidad Política y Social del Proyecto
17. Conclusiones

Fuente: Adaptada de Talyan V., R.P. Dahiya, S. Anand, T.R. Sreekrishnan. 2007. "Quantification of methane emission from municipal solid waste disposal in Delh"i

3.11 - EXPERIENCIAS SOBRE EL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS.

Al hablar del biogás es importante mencionar los usos que en la práctica se le han dado, ya que otros países muestran claros ejemplos del aprovechamiento de este recurso al poder consolidar proyectos, investigaciones e incluso hasta empresas establecidas transnacionales cuyo fin es el aprovechamiento del biogás. Por ello se mencionan algunos ejemplos de las actividades nacionales e internacionales que se han logrado realizar en pro del aprovechamiento de este recurso.

3.11.1 - DIVERSAS APLICACIONES DEL BIOGÁS EN ARGENTINA

En la República Argentina la investigación sobre el tema del biogás está a cargo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), que ha desarrollado un proyecto denominado "digestor anaeróbico productor de biogás calefaccionado por energía solar."

Una de las figuras en este campo es el ingeniero Eduardo Groppelli, quien junto con otros autores escribió el libro titulado "EL CAMINO DE LA BIODIGESTIÓN." Asimismo en el año de 1993 instaló un biodigestor en la escuela rural de Los Cerrillos, que alimenta las hornillas de la cocina del comedor escolar. Posteriormente instaló otro biodigestor en 1995 en Alto Verde donde el biodigestor instalado permite cocinar la comida para 400 alumnos por día, ahorrando importantes recursos económicos.

En octubre de ese mismo año, otro biodigestor, instalado en Monte Vera, empezó a utilizar por primera vez residuos urbanos recolectados en forma selectiva por los vecinos que separan la parte orgánica de la basura.

El biogás usado para el criadero avícola, permitió ahorrar dinero antes destinado a comprar gas en garrafas. Desde entonces más de veinte instalaciones demostrativas han sido colocadas en guarderías infantiles, hogares, centros comunitarios y comedores escolares en las provincias de Santa Fe, Buenos Aires, Córdoba y San Juan.

En la localidad santafesina de Emilia, los investigadores de la Universidad Nacional del Litoral desarrollaron un biodigestor que entró en operación en octubre de 2002, en él cada día entran los 300 kilos de residuos orgánicos que produce la población. Los habitantes de Emilia se han acostumbrado a colocar los restos orgánicos en bolsas separadas de las que contienen vidrios, plásticos o metales.

El metano producido en el biodigestor se acumula en un gasómetro y se utiliza como combustible en la escuela agrotécnica del pueblo. El abono natural sirve para fertilizar una plantación de frutales. En una planta de mayor tamaño, el residuo podría fácilmente desecarse y trasladarse o comercializarse en bolsas.

3.11.2 - CENTRAL BUEN AYRE

La planta es la más grande de la Argentina y una de las tres más importantes de Sudamérica. Fue diseñada y construida por Benito Roggio ambiental.

Está ubicada en el Complejo Ambiental Norte III y produce energía a partir del biogás generado por los residuos dispuestos. Generará 10MW en forma permanente que serán inyectados al sistema interconectado nacional. Equivale al consumo de energía de 15.000 habitantes.

Central Buen Ayre, comenzó a operar a fines del 2012, luego de cumplir todos los requisitos técnicos y administrativos exigidos por CAMMESA para ingresar al SADI (Sistema Argentino de interconexión).

Central Buen Ayre es una compañía especialmente constituida para el desarrollo de este proyecto; junto con Ecoayres Argentina S.A. integran Enerco2, división de negocios de Benito Roggio ambiental encargada de llevar a cabo proyectos de Valorización Energética y Energías Alternativas.

La planta fue diseñada, construida y es operada por Central Buen Ayre, luego de obtener la Licitación Pública Nacional convocada por ENARSA en el marco de su programa GENREN, el cuál incentiva la generación de energía a partir de fuentes renovables.

El proyecto demandó una inversión de 150 millones de pesos y luego de 10 meses de obras, incluyendo todos los sistemas de extracción y tratamiento del biogás proveniente del módulo C de Norte III, Central Buen Ayre aprobó de manera exitosa todas las pruebas y ensayos exigidos por CAMMESA. El tendido de transmisión eléctrica hacia el sistema de interconectado nacional implicó un desafío técnico resuelto exitosamente. Incluyó la construcción de un electroducto de 7,2 KM hasta la subestación más cercana, con tres obras críticas en el tendido de la traza como fueron los cruces del Río Reconquista y Arroyo Güemes, el Camino del Buen Ayre y la Ruta Nacional N°8.

La planta cuenta con una potencia instalada de 11,8 MW y genera en forma permanente 10 MW, lo que equivale al consumo diario promedio de 15.000 habitantes.

La innovación de esta planta en materia energética y de gestión de residuos reside en que es la primera abocada al 100 % a la producción de energía a partir de biogás extraído de relleno sanitario. Para dimensionar la importancia del ahorro ambiental que genera Central Buen Ayre, es posible afirmar que si una planta deseara generar la misma cantidad de energía pero con gas natural, necesitaría por año 22.000.000 Nm³.

No solo genera energía a partir de una fuente renovable, sino que también contribuye a la recuperación y eliminación del gas metano mediante este proceso, ya que evita que 604.375 toneladas de CO₂ por año sean liberadas a la atmósfera.

Por este beneficio ambiental el proyecto ha sido registrado bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas, siendo capaz de generar certificados de reducción de emisiones (CERs por sus siglas en inglés), comúnmente llamados bonos de carbono (o bonos verdes).

Esta iniciativa de valorización energética de residuos se enmarca dentro del férreo compromiso de Benito Roggio ambiental por generar nuevos desarrollos que priorizan la tecnología y la innovación a favor del ambiente y promuevan la sustentabilidad.

Central Buen Ayre es la segunda planta de extracción y tratamiento de biogás para su posterior reutilización que Benito Roggio ambiental desarrolla y opera. Desde 2008 trabaja a través de Ecoayres en la recuperación y

tratamiento de biogás del módulo B de Norte III. Actualmente la planta de Ecoayres se autoabastece con la electricidad generada a partir del biogás extraído.

Fuente: Artículo blog Benito Roggio Ambienta.

Web: <http://www.bra.com.ar/Spanish/Noticias/Pages/Central-Buen-Ayre-comenzo-a-generar-energia.aspx>

3.11.3 - APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS EN RELLENOS SANITARIOS EN FRANCIA

Un claro ejemplo del aprovechamiento del biogás se encuentra en Bouqueval / Plessis-Gassot, Francia, un Centro de Almacenamiento de Residuos sólidos urbanos controlados por la empresa Veolia Environnement (Figura 3. 9).

Este centro de confinamiento está dividido en celdas de 10 hectáreas de extensión y unos quince metros de profundidad. Dentro de cada una de estas celdas los residuos son preparados, posteriormente extendidos y compactados formando capas sucesivas.

Al mismo tiempo que se realiza el relleno de las celdas, se instalan una serie de sondas de evacuación para capturar el biogás entre las capas de residuos.

Una celda tarda en llenarse unos 18 meses. Cuando la celda está llena se instala un colector que une todas las sondas de evacuación del biogás y que lleva a pozos de captación. Cada una de las celdas produce biogás durante un promedio de 25 años.

En Bouqueval/Plessis-Gassot se dispone una media de 800,000 toneladas de residuos al año, es decir los residuos generados por 2 millones de personas. Esta cantidad es más que suficiente para que se genere una producción total de biogás de 13,000 m³/hora, de los que se valorizan 10,000 m³ para producir 10 MW/hora de electricidad, es decir el consumo medio de una ciudad de 30,000 habitantes (Figura 3. 10).

Tras su captación y control, los 10.000 m³ de biogás que se producen en el vertedero controlado de Bouqueval se queman en tres calderas. Los quemadores de estas calderas se adaptan automáticamente a la cantidad y a la calidad del biogás entrante, es decir, a su contenido en metano. Cada una de las calderas suministra 30 toneladas de vapor a 380° C, a una presión de 40 bars. Este vapor pone en marcha una turbina que gira a 7.500 vueltas/minuto, conectada a su vez a un alternador que, finalmente, produce cerca de 20.000 voltios de electricidad, vendida a la compañía francesa de electricidad EDF.

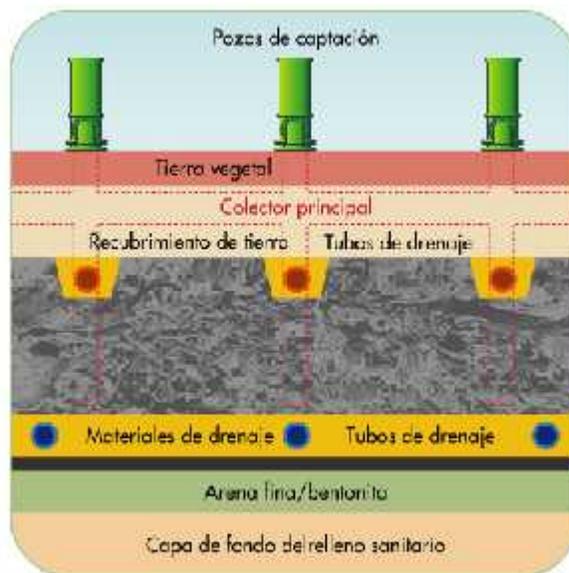


Figura 3. 9 - Esquema de captación Bouqueval / Plessis-Gassot

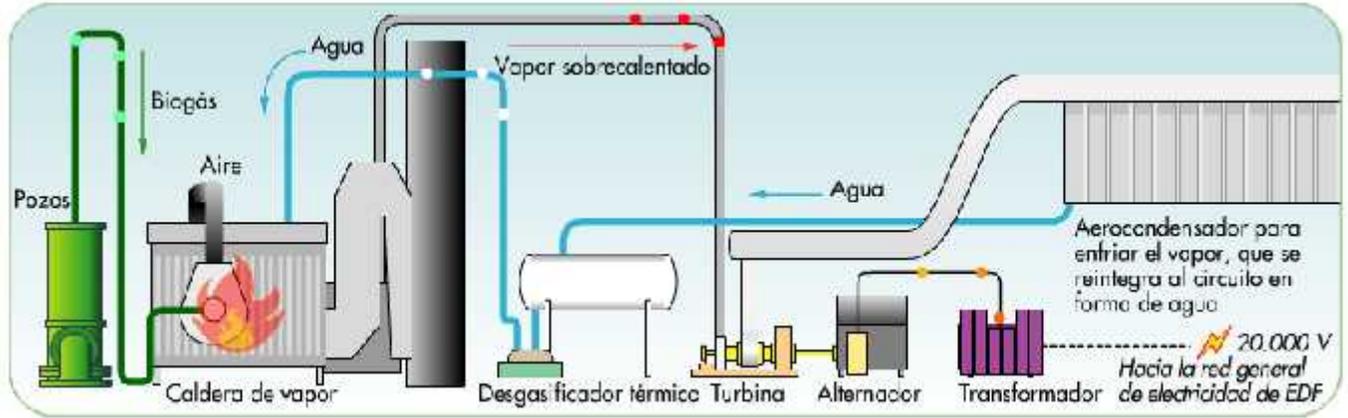


Figura 3. 10 - Producción de Electricidad en Bouqueval/Plessis-Gassot

Fuente: 2006 Veolia Environnement (página institucional de la empresa explotadora)

3.12 - SINTESIS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se han detallado las propiedades, composición típica e interacción con el medioambiente de del biogás de rellenos sanitarios,

Se describieron las características técnicas que influyen en la producción de biogás y los factores a considerar en lo que refiere a su captación y transformación.

Los aspectos tecnológicos y energéticos de la captación de biogás serán abordadas para el cálculo de las estimaciones de producción de la provincia de Córdoba.

Habiendo considerado los casos de aplicación internacional sobre las distintas alternativas de gestión de biogás, se procederá a analizar los aspectos legales propios de nuestra provincia como así también se analizará la viabilidad económica de plantear un sistema de gestión de tales características para la provincia de Córdoba.

CAPITULO 4: MARCO LEGAL

4.1 - INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se tratan aspectos normativos legales vinculados tanto a la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, como así también los aspectos vinculados a la protección del ambiente y los activos ambientales, y finalizando con la normativa que vincula la generación de Energía a partir del uso de fuentes renovables como lo son los RSU.

4.2 - CONTEXTO INTERNACIONAL

4.2.1 - PROTOCOLO DE KIOTO

REDUCCIÓN Y ESTABILIZACIÓN DE LAS EMISIONES DE GEI

El Protocolo de Kioto (PK) es el comienzo del camino hacia un régimen mundial de reducción y estabilización de las emisiones de Gases de efecto invernadero, y proporciona la arquitectura esencial para cualquier acuerdo internacional sobre el cambio climático que se firme en el futuro.

Este pacto internacional, es el sucesor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Su principal objetivo es estabilizar “las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático”.

Es uno de los instrumentos jurídicos internacionales más importantes destinado a luchar contra el cambio climático. Contiene los compromisos asumidos por los países industrializados de reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va de 2008 a 2012. Habiendo concluido la primera etapa del Protocolo de Kioto (2008 a 2012), se cita a continuación algunos ejemplos importantes respecto a los compromisos asumidos en la Tabla 4. 1.

Tabla 4. 1 - Postura de algunos Países respecto a PK

PAIS	POSTURA FRENTE AL PROTOCOLO
USA	Con apenas el 4% de la población mundial, consume alrededor del 25% de la energía fósil y es el segundo mayor emisor de gases contaminantes del mundo. en 2001 el presidente Bush se retiró del protocolo.
CANADÁ	Lo adoptó pero en 2011 lo abandonó para no pagar las multas relacionadas con la reducción de emisiones.
CHINA E INDIA	No están obligados, aumentaron sus emisiones de 2.500.000 de kilo toneladas a más de 8.000.000 y de 690.000 a 2.000.000 respectivamente convirtiéndose en los más grandes emisores de CO ₂ del planeta.
URUGUAY	En el año 1990 emitía 3993 kT de CO ₂ y en 2010 emitió 6645 kT (después de haber llegado a las 8000 kT en 2008). (*)
ARGENTINA	Ratificó el acuerdo, previa aprobación del Congreso Nacional el día 13 de julio de 2001. Paso de 120.000 kT a 180.000 kT en 2008. (*)
BRASIL	Paso de 208.000 kT a 419.000 kT en 2008. (*)

(*) Los países del Mercosur no están obligados a reducir sus emisiones por ser países considerados en desarrollo. Según la tabla publicada por el Banco mundial.

Argentina, como país en desarrollo y con aproximadamente el 0,6 % del total de las emisiones mundiales, no estaba obligada a cumplir las metas cuantitativas fijadas por el Protocolo de Kioto. Pese a ello ratificó el acuerdo, previa aprobación del Congreso Nacional el día 13 de julio de 2001, a través de la Ley Nacional 25.438. En

consecuencia, su condición de país adherente hace que deba comprometerse con la reducción de emisiones o, al menos, con su no incremento.

La comunidad europea, a la vanguardia de los esfuerzos internacionales, ha sido una fuerza impulsora en las negociaciones internacionales sobre el cambio climático, lo cual ha sido fundamental en el desarrollo de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kioto.

Actualmente, la UE presiona para llegar a un acuerdo que sea ambicioso, global y jurídicamente vinculante. Como parte de la transición a un futuro régimen climático mundial, la UE participa en la segunda fase del Protocolo de Kioto que se ejecuta desde 2013 hasta 2020.

La UE también es el principal donante mundial de ayuda al desarrollo, ya que proporciona fondos considerables para ayudar a países en desarrollo a combatir el cambio climático.

4.2.1.2 - CONNOTACIONES JURÍDICAS PARA LA ARGENTINA

El compromiso con los lineamientos del Protocolo de Kioto, según Ley Nacional 25.438, en su artículo 1º, define:

–*“Apruébese el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptado en Kioto – Japón, el 11 de diciembre de 1997, que consta de veintiocho (28) artículos y dos (2) anexos”.*

Con el fin de promover el desarrollo sostenible, cumpliendo con los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones, se manifiestan dos pilares fundamentales:

1. La aplicación y seguimiento de políticas y medidas de conformidad con las circunstancias nacionales, entre las que podemos destacar las siguientes:

-) Fomento de la eficiencia energética en los sectores pertinentes de la economía nacional.
-) Protección y mejora de los sumideros y depósitos de los gases de efecto invernadero no controlados por el protocolo de Montreal, teniendo en cuenta sus compromisos en virtud de los acuerdos internacionales pertinentes sobre el medio ambiente: promoción de prácticas sostenibles de gestión forestal, la forestación y la reforestación.
-) Promoción de modalidades agrícolas sostenibles a la luz de las consideraciones del cambio climático.
-) Investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales.
-) Reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y arancelarias y las subvenciones que sean contrarios al objetivo de la convención en todos los sectores emisores de gases de efecto invernadero y aplicación de instrumentos de mercado.
-) Fomento de reformas apropiadas en los sectores pertinentes con el fin de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el protocolo de Montreal.
-) Limitación y/o reducción de las emisiones de metano mediante su recuperación y utilización en la gestión de los desechos así como en la producción, el transporte y la distribución de energía.

2. Cooperación con otras Partes del anexo I del PK (países obligados) para fomentar la eficacia individual y global de las políticas y medidas que se adopten.

Con este fin, estas Partes procurarán intercambiar experiencia e información sobre tales políticas y medidas, en particular concibiendo las formas de mejorar su comparabilidad, transparencia y eficacia

Las Partes incluidas en el Anexo I del PK, deben procurar limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero no controlados por el Protocolo de Montreal generadas por cualquier medio.

4.2.1.3 - MECANISMOS DE FLEXIBILIDAD

Consciente de que el cumplimiento de los compromisos asumidos podría tornarse demasiado costoso, poniendo incluso en riesgo el desarrollo económico de algunos países, el Protocolo de Kioto incorporó unos instrumentos denominados “mecanismos de flexibilidad” (MMFF) cuya principal función es la de facilitar el cumplimiento de las obligaciones ambientales mediante una redistribución de las cuotas de emisión asignadas a cada Parte.

Los instrumentos de flexibilidad funcionan a partir del reparto de derechos de emisiones (DDEE) entre las partes y sus empresas. El Protocolo utiliza un sistema de reparto de tipo “*cap-and-trade*” (límite y emisión), el cual se estructura en función de los siguientes pasos:

1. Como primera medida se fija el límite total de emisiones tolerables para un período de tiempo determinado (cap). Este límite nunca puede ser superado.
2. A partir de este límite se determina el número de títulos que representan esa cantidad de contaminación. Cada título equivale a la posibilidad de liberar a la atmósfera una unidad del gas que se pretende reducir. En este caso, los títulos son los DDEE.
3. Seguidamente se distribuyen estos títulos entre los países desarrollados, y luego éstos los asignan a las instalaciones contaminantes de su territorio.
4. Las instalaciones deben respetar la cantidad de emisiones asignadas bajo pena de severas sanciones. Para ello, el primer trimestre de cada año tienen que entregar una cantidad de derechos equivalente a las emisiones realizadas en el año anterior.

En caso de que la instalación tenga más derechos que emisiones o bien podrá utilizar dicho excedente para el año siguiente; o bien podrá venderlo en el mercado de DDEE. En cambio, cuando se liberen más gases de los permitidos o se adquieren los derechos necesarios en el mercado de DDEE; o se afrontan las elevadas sanciones que se establecen para los incumplidores.

La dinámica del mercado es la de una bolsa de valores tradicional, en la que oferentes y demandantes (privados y públicos) coinciden en un escenario para intercambiar un bien o servicio, sólo que en este caso son permisos de emisión.

Para 2010, se negociaron 400 millones de toneladas “CO₂ equivalentes” en el mercado voluntario, que equivaldrían a entre de US \$4,000 y US \$ 5,000 millones, sin contar los US \$16,000 millones que llegarían a Latinoamérica como apoyo financiero a proyectos de desarrollo sostenible (A. Vázquez García, “*El Mercado de los Bonos de Carbono*”. Año 2012).

La aplicación práctica de estos instrumentos se basa en el siguiente razonamiento: está científicamente comprobado que los efectos del cambio climático se producen globalmente, más allá del lugar específico donde se liberen los gases contaminantes. Por lo tanto, ecológicamente es irrelevante el lugar donde se reducen la liberación de dichos gases, pero económicamente es más rentable disminuir las emisiones allí donde salga menos oneroso.

En general, el esfuerzo que tendrían que realizar los países desarrollados para modificar sus industrias es mucho mayor al que supone la implantación de tecnologías limpias en países en desarrollo o de baja eficiencia energética.

Partiendo de este análisis el PK establece tres instrumentos de flexibilidad:

1. El mecanismo de acción o implementación conjunta (AC).
2. El mecanismo de desarrollo limpio (MDL).
3. El comercio de DDEE.

Si bien cada uno de ellos tiene su propia estructura existe una serie de elementos comunes a todos, descritos a continuación:

- **Fundamento económico y ambiental:** el propósito de todos los MMFF es alcanzar el mayor cumplimiento de los compromisos ambientales propuestos al menor costo posible.
- **Carácter geográfico:** esos instrumentos implican una actividad reductora de gases contaminantes que se desarrolla en el territorio de un Estado computando el resultado para el país inversor.
- **Accesoriedad:** la utilización de estos mecanismos debe ser subsidiaria y complementaria a la reducción fijada para cada Estado del Anexo B del Protocolo, evitando que se conviertan en la única y primera medida para conseguir dichos objetivos.
- **Unidad de medida para conocer las reducciones obtenidas tras la utilización de estos mecanismos:** tanto la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático CMNUCC y el PK hablan del “dióxido de carbono equivalente” como la medida común que sirve para todos los GEI.

4.2.1.4 - MECANISMO DE APLICACIÓN O CUMPLIMIENTO CONJUNTO (AC)

El mecanismo de AC supone que dos o más partes actúen mancomunadamente en el cumplimiento de una obligación.

En sus artículos 4 y 6 el PK distingue claramente dos modalidades diferentes de cumplimiento conjunto:

-)] En el primer caso se considera que las Partes del anexo I del PK (países desarrollados) que acuerden un cumplimiento mancomunado, han satisfecho sus obligaciones cuando la suma total de sus emisiones no exceda las cantidades atribuidas al conjunto. Cuando las Partes del grupo no logren el nivel total de reducción de emisiones, cada uno de los participantes responderá por sus propias emisiones.
-)] La otra modalidad del PK implica que “...*toda Parte incluida en el anexo I del PK podrá transferir a cualquiera otra de esas Partes, o adquirir de ella, las unidades de reducción de emisiones resultantes de proyectos encaminados a reducir las emisiones antropógenas por las fuentes o incrementar la absorción antropógena por los sumideros de los gases de efecto invernadero en cualquier sector de la economía...*”.

4.2.1.5 - MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO (MDL)

Definido como aquel mecanismo destinado a “ayudar a las Partes no incluidas en el anexo I del PK, a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objetivo último de la Convención, así como ayudar a las Partes incluidas en el anexo I a dar cumplimiento a sus compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones.

Si bien es cierto que el MDL y el de AC son bastante parecidos, a partir de sus definiciones se pueden extraer algunas diferencias elementales.

Mientras que en la AC participan exclusivamente países del Anexo I del PK, es decir con límites de emisiones, en el MDL un país desarrollado invierte en un país en vías de desarrollo. El recorte de la contaminación derivado de esa inversión se documenta en certificados de emisiones reducidas (CER) que obtiene el país inversor luego de un meticuloso procedimiento. La cantidad de emisiones reducidas o absorbidas por sumideros que representan esos certificados equivalen a la misma cantidad de DDEE que podrán ser utilizadas para el cumplimiento de los compromisos u ofrecidas en el mercado de tales derechos.

El Mecanismo para un Desarrollo Limpio establece una serie de sectores en los que se pueden desarrollar proyectos, estos son:

- Industria de la energía (fuentes renovables y no renovables).
- Distribución de la energía.
- Demanda de la energía.
- Industria manufacturera.
- Industria química.
- Construcción.
- Transporte.
- Producción de metales.
- Producción mineral.
- Emisiones fugitivas de combustibles.
- Emisiones fugitivas provenientes de la producción y consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre
- Uso de solventes.
- Tratamiento y disposición de residuos.
- Forestación y reforestación.
- Agricultura.

4.2.1.6 - EL MERCADO DE LOS DERECHOS DE EMISIÓN (DDEE) – “BONOS DE CARBONO”

El ascenso inicial de este mercado comenzó en EEUU con el programa experimental de comercio de emisiones implementado en la década del '70. Con el paso de los años esta práctica se fue haciendo cada vez más asidua entre los países desarrollados (EEUU, Japón, Australia, UE, etc.).

El mercado de DDEE establecido por el PK comenzó a operar en 2008 y permite a un país transferir parte de su cuota de emisión a otro que las necesite para cumplir con sus compromisos o, en la situación inversa, adquirir de otro país la cantidad de derechos que le exija el cumplimiento de sus obligaciones. El sistema permite cierta flexibilidad y adaptación a las características de las Partes involucradas. Aquellas que se extralimiten en sus emisiones adquirirán los permisos excedentes de otras a cambio de un precio, con lo cual se premia a quienes efectúen menos emisiones ya que cobran un precio por ello, y se castiga a las que emitan más de lo permitido ya que están obligadas a pagar por sobrepasar los límites autorizados.

En el marco de los compromisos del Protocolo de Kioto, se promueve la implementación de proyectos que aprovechan el instrumento de incentivo financiero “Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)”. Paralelamente, el Banco Mundial ha puesto en marcha un programa que reúne a inversionistas de países desarrollados y posibles beneficiarios de países en desarrollo, creando un mercado para los certificados de reducción de emisiones de carbono, mejor conocidos como bonos de carbono.

El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la contaminación generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a contaminar como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado. La transacción de los bonos de carbono —un bono de carbono representa el derecho a contaminar emitiendo una tonelada de dióxido de carbono— permite mitigar la generación de gases contaminantes, beneficiando a las empresas que no contaminan o disminuyen la contaminación y haciendo pagar a las que contaminan más de lo permitido.

Las reducciones de emisiones de GEI se miden en toneladas de CO₂ equivalente, y se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (CER).

Un CER equivale a una tonelada de CO₂ que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países Anexo I del PK (países industrializados). La institución encargada de entregar estos bonos son las Naciones Unidas.

4.2.1.7 - EL MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

Atento que Argentina es un Estado en vías de desarrollo, del PK se derivan dos cuestiones de fundamental importancia para nuestro país: el MDL y los fondos de carbono.

Uno de los primeros pasos normativos de la Argentina respecto a este mecanismo lo encontramos con el Decreto Nacional 822 de 16 de julio de 1998. A través de esta norma se creó la Oficina Argentina de Implementación Conjunta (OAIC), que inicialmente entraba en la órbita de actuación de la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable de la Presidencia de la Nación. Su función consistía en llevar a cabo todas las acciones que requieran los mecanismos dispuestos en el PK.

En este mecanismo, MDL, sólo pueden participar los países desarrollados. Para solucionar esta cuestión se dictó la Resolución 240 de 24 de febrero de 2005, por la que resuelve cambiar la denominación de la OAIC por la de Oficina Argentina del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (OAMDL), ahora bajo el ámbito de Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Desarrollo Social. Una de las normas más importantes respecto al MDL fue la Resolución 825 de 1 de noviembre de 2004. A través de ella se destaca la aprobación de las normas de procedimiento para la evaluación nacional de proyectos presentados ante la OAMDL.

Las funciones más importantes de esta oficina son las siguientes:

-) Establecer metodologías y procedimientos para la identificación, formulación y evaluación de proyectos MDL.
-) Asesorar en la aprobación de proyectos MDL.
-) Identificar las fuentes de financiamiento para los proyectos MDL y establecer los nexos con dichas fuentes.

Los proyectos MDL deben presentarse ante la Secretaría Permanente de la OAMDL acompañando una nota de solicitud de evaluación. Esta presentación tendrá carácter de declaración jurada, y en aquellos casos que no se respeten los lineamientos establecidos se considerará que las presentaciones son incompletas y serán devueltas al interesado.

Una vez giradas las actuaciones por la Secretaría Permanente al Comité Ejecutivo, éste deberá designar, dentro de un plazo no mayor a 5 días hábiles, la Institución Evaluadora a cuyo cargo estará la evaluación técnica del proyecto. La Institución Evaluadora se expedirá en un plazo no mayor a 10 días hábiles desde de la recepción de la copia del proyecto. A su vez, dentro de ese mismo plazo, deberán realizarse todos los pedidos de aclaración y/o ampliación de información que se estimen pertinentes.

En líneas generales, la Institución Evaluadora analizará:

-) La adicionalidad del proyecto.
-) La línea de base del proyecto.
-) La reducción neta de emisiones que generará el proyecto con respecto a la línea de base.
-) El período de crédito seleccionado.
-) La rentabilidad económica y financiera del proyecto.
-) Las fuentes de financiamiento.
-) La factibilidad técnica del proyecto.
-) La metodología propuesta en el plan de monitoreo, incluyendo su frecuencia y equipamiento a utilizar.

Por su parte, en 2005 la Argentina creó el Fondo Argentino del Carbono (FAC) mediante el Decreto Nacional 1070 de 1 de septiembre de 2005. Aprovechando las oportunidades derivadas del PK, su gran objetivo es facilitar la ejecución y desarrollo de nuevos proyectos MDL en el territorio nacional. En ese sentido, se promueven las inversiones, la incorporación de nuevas tecnologías y la consecución del desarrollo sostenible.

La República Argentina ratificó la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC) y el PK mediante las Leyes 24.295 (1993) y 25.438 (2001), respectivamente. Pero los efectos de esta normativa repercuten de distinta manera según el grado de desarrollo de los Estados Parte. Tal es así que, de conformidad

con el principio de responsabilidad común pero diferenciada, el PK clasifica a los países en tres grupos bien diferenciados a la hora de asignar los compromisos ambientales:

-) Países no enumerados en sus anexos (entre los cuales se encuentra Argentina).
-) Países del Anexo I.
-) Países del Anexo II.

Esta circunstancia hace que Argentina, como país en vías de desarrollo, no tenga excesivas restricciones ambientales, entre ellas la limitación de emisiones de GEI, que es la más rigurosa. Pero esto no excluye a nuestro país de la participación activa en la lucha contra el calentamiento global ya que su papel es fundamental de cara a los proyectos del MDL y, en menor medida, a la inversión en fondos nacionales de carbono.

El MDL presenta enormes ventajas económicas y ambientales tanto para los Estados desarrollados como no desarrollados, con lo cual, países como el nuestro se transforman en potenciales receptores de inversión y tecnología. De hecho, desde hace algunos años, con esta visión de futuro, muchos países industrializados han comenzado a suscribir acuerdos bilaterales con los países menos desarrollados para facilitar la ejecución de estas acciones. Pero para que esa posibilidad de atraer inversión y tecnología se transforme en una realidad es necesario que los países receptores garanticen seguridad jurídica a los inversores. En este sentido, uno de los pasos más importantes es la configuración de una normativa adecuada que sea capaz de canalizar de manera ágil y segura el MDL y los fondos de carbono.

Argentina cuenta, como se ha expuesto, con una legislación propicia para albergar la ejecución de proyectos de desarrollo limpio y fomentar la inversión en el FAC (Fondo Argentino de Carbono), pero aún falta asegurar definitivamente la tan anhelada seguridad jurídica.

El MDL se presenta como el mecanismo más relevante ya que la consecuencia directa de aquél será la modernización de nuestras instalaciones emisoras de GEI, la disminución de la contaminación y el consecuente aumento de la calidad de vida para sus habitantes. De todas maneras, la importancia de los fondos de carbono no debe menospreciarse ya que no sólo otorgan liquidez al sistema sino que también contribuyen a la financiación de los proyectos MDL.

Según el número de proyectos MDL registrados en la ONU, nuestro país actualmente se encuentra en el puesto 14º a nivel mundial: China, 2352; India, 903; Brasil, 213; México, 144; Vietnam, 144; Malasia, 110; Indonesia, 80; Tailandia, 74; República de Corea, 69; Filipinas, 58; Chile, 56; Colombia, 43; Perú, 31; Argentina, 29.

4.3 - CONTEXTO NACIONAL RELATIVO A LA GIRSU

4.3.1 - GENERALIDADES

Lo habitual es que el Estado asuma la responsabilidad de la gestión de residuos sólidos urbanos, sea por cuenta propia o mediante servicios de terceros. En general, las entidades estatales más directamente involucradas con la gestión de los RSU son los Ministerios o Secretarías de Salud y Medio Ambiente, a través del organismo respectivo en el nivel nacional, sectorial, regional o local.

El Ministerio de Salud Pública debe cooperar con la función legislativa en el dictado de normas sanitarias relacionadas con la recolección, transporte y tratamiento de los RSU y debe constituirse en el principal elemento fiscalizador de su cumplimiento e, idealmente, actuando además como un organismo de apoyo a la gestión que realizan las autoridades locales en estos aspectos.

Las autoridades locales, específicamente los municipios, deben ocuparse de la gestión operativa de los residuos sólidos en sus fases de recolección, transporte y tratamiento, sin perjuicio de que puedan entregar la totalidad o parte de ellas en concesión a particulares, o bien, realizarlas en conjuntos con otros municipios (Oficina Panamericana de la Salud, 1998).

Existe una gran diversidad de normas en materia ambiental, tanto a nivel nacional, como provincial y municipal, las que en muchos casos se superponen en su aplicación y en el objeto regulado. En particular, las disposiciones sobre residuos están contenidas en diversas leyes, las que en su totalidad están en vigencia (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2005).

La Constitución Nacional Argentina expresa en su artículo N°31 que todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

La Ley Nacional N° 25.916/0, bajo el título de “*Gestión Integral de Residuos Domiciliarios*” hace referencia a los presupuestos mínimos para el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable. Principios de política ambiental, siendo una Ley marco que debe ajustarse a normas específicas.

Por otro lado, la Ley N° 25.831 – “Régimen de Libre Acceso a la Información Pública Ambiental”, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para garantizar el derecho de acceso a la información ambiental que se encontrare en poder del Estado, tanto en el ámbito nacional como así también de entes autárquicos y empresas prestadoras de servicios públicos, sean públicas, privadas y mixtas. Establece los sujetos obligados y los procedimientos.

4.3.2 - LA ESTRATEGIA NACIONAL DE GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (ENGIRSU)

*Las premisas expresadas en la Estrategia Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos
(2005, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación)*

El Programa tiene como objetivo mejorar la calidad y eficiencia de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), tanto en centros urbanos como en municipios turísticos del país. Esto abarca a los servicios de barrido, recolección, transporte, transferencia, valorización, reciclaje y/o disposición final de RSU. El Programa tiene como misión incrementar las toneladas dispuestas en rellenos sanitarios y disminuir la presencia de vertederos a Cielo Abierto (VCA), por el riesgo que estos suponen para el ambiente y la salud de la población. El Programa contempla una inversión total de US\$187.500.000, compuesto por un aporte del BID US\$150.000.000 y un aporte de la contraparte local de US\$ 37.500.000.

La ENGIRSU, desarrollada por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación en el año 2005 y tomada como marco de referencia para la elaboración de estos lineamientos, se apoya en los siguientes principios fundamentales:

-) Preservación de la salud pública.
-) Preservación ambiental.
-) Disminución significativa de residuos a generar y disponer con la aplicación de procesos de minimización y valorización a través de las 4R's (Reducción, Reúso, Reciclado y Recompra).
-) Disposición final de los RSU en forma sostenible.

A su vez, propone la focalización en cinco objetivos específicos:

-) Reducción y Valorización de RSU.
-) Implementación de la GIRSU.
-) Clausura de basurales a cielo abierto.
-) Recopilación, procesamiento y difusión de Información.
-) Comunicación y Participación.

En detalle, la ENGIRSU se fundamenta en cinco pilares fundamentales:

1. Garantía de la Salud Pública y la Calidad de Vida
2. Desarrollo Sostenible
3. Preservación Ambiental
4. Equidad, Inclusión y Aceptabilidad Social
5. Factibilidad y Sostenibilidad Económica

4.3.3 - NORMATIVA REFERIDA A ENERGIA ELECTRICA

LEY 26.190 - “Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.”

Esta Ley Nacional, sancionada y promulgada en diciembre de 2006 bajo el Decreto Reglamentario: 562/2009, declara de interés nacional la producción de energía eléctrica a través de fuentes alternativas como así también la investigación y la fabricación de equipos para esta finalidad.

Propone como objetivo lograr una contribución del 8% de aporte de energía en 10 años a partir de la fecha de entrada en vigencia de la ley. Promueve nuevas inversiones en emprendimientos de este tipo en todo el territorio nacional, en obras civiles componentes y equipos.

Crea un régimen de inversiones por 10 años destinado a la producción de energías renovables del mercado mayorista o a la prestación de servicios públicos con radicación en el territorio nacional, dando prioridad a aquellos emprendimientos que generen empleos.

Serán beneficiarios del régimen de ésta Ley, las personas físicas y/o jurídicas que sean titulares de inversiones y concesionarios de obras nuevas de producción de energía eléctrica generada a partir de fuentes de energía renovables, aprobados por la autoridad de aplicación y comprendidas dentro del alcance fijado, con radicación en el territorio nacional, cuya producción esté destinada al Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) o la prestación de servicios públicos.

Los beneficiarios mencionados gozarán a partir de la aprobación del proyecto respectivo y durante la vigencia establecida, de beneficios promocionales en lo referente al Impuesto al Valor Agregado y al Impuesto a las Ganancias, a la adquisición de bienes de capital y/o la realización de obras que se correspondan con los objetivos del presente régimen. Así también, los bienes afectados por las actividades promovidas por la presente ley, no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta.

Esta ley en su artículo 14, establece la remuneración de hasta 0,015 \$/kWh efectivamente generados por sistemas de energía geotérmica, mareomotriz, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás, a instalarse que vuelquen su energía en los mercados mayoristas o estén destinados a la prestación de servicios públicos. El valor de la remuneración establecida, se adecuarán por el Coeficiente de Adecuación Trimestral (CAT).

4.4 - CONTEXTO PROVINCIAL

4.4.1 - CONSTITUCIÓN DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

A nivel provincial, se reconoce como objeto de tutela al ambiente, de allí que los emprendimientos que se pongan o los que estén en marcha, no deben ser lesivos para la calidad de vida de sus habitantes y el equilibrio ambiental sin que se hayan tomado prevenciones a los fines de evitar estas consecuencias o minimizarlas. De suma importancia al cuidado del ambiente, dedicándole en numerosas partes especial atención. Está contemplado en las “Declaraciones de fe política” y considerado dentro de los “derechos sociales” y “deberes”. En el capítulo titulado “Políticas especiales del Estado”, los artículos 66 –“Medio ambiente y calidad de vida”- y 68 –“Recursos naturales”-, garantizan la protección del agua, suelo, el aire, la flora y la fauna por parte del Estado Provincial, a quien corresponde la preservación de los recursos naturales renovables y no renovables, orientando su uso y explotación, y el resguardo del equilibrio del sistema ecológico, sin discriminación de individuos o regiones.

4.4.2 - LEY N° 10208 - POLÍTICA AMBIENTAL PROVINCIAL DE CÓRDOBA

La presente Ley, en su art. 1°, determina la política ambiental provincial y, en ejercicio de las competencias establecidas en el artículo 41 de la Constitución Nacional, complementa los presupuestos mínimos establecidos en la Ley Nacional N° 25.675 -General del Ambiente-, para la gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sustentable que promueva una adecuada convivencia de los habitantes con su entorno en el territorio de la Provincia de Córdoba.

El diseño, formulación y aplicación de las políticas ambientales deben asegurar la efectiva aplicación de las siguientes premisas (se mencionan sólo las relativas al proyecto):

-) El respeto de la dignidad humana y el mejoramiento continuo de la calidad de vida de la población;
-) La protección de la salud de las personas previniendo riesgos o daños ambientales;
-) La protección, rehabilitación y recuperación del ambiente, incluyendo los componentes que lo integran;
-) La protección y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales en condiciones compatibles con la capacidad de depuración o recuperación del ambiente y la regeneración de los recursos naturales renovables;
-) La prevención y el control de la contaminación ambiental, principalmente en las fuentes emisoras. Los costos de la prevención, vigilancia, recuperación y compensación del deterioro ambiental corren a cargo del causante del perjuicio;
-) La promoción del desarrollo y uso de tecnologías, métodos, procesos y prácticas de producción y comercialización más limpias, incentivando el uso de las mejores tecnologías disponibles desde el punto de vista ambiental;
-) La promoción efectiva de la educación ambiental, de la participación ciudadana y de una ciudadanía ambientalmente responsable;
-) El aprovechamiento de las sinergias en la implementación de los acuerdos multilaterales ambientales a fin de reducir esfuerzos, mejorar la inversión en su implementación y evitar superposiciones para obtener resultados integradores y eficaces.
-) El incentivo al desarrollo, al uso de tecnologías apropiadas y al consumo de bienes y servicios ambientalmente responsables, garantizando una efectiva conservación de los recursos naturales, su recuperación y la promoción del desarrollo sostenible.

En cuanto a los instrumentos de Política y Gestión Ambiental, la Ley establece en su artículo 8°, que la Provincia de Córdoba utilizará en forma prioritaria como instrumentos de política y gestión ambiental los siguientes:

-) El ordenamiento ambiental del territorio;
-) La evaluación de impacto ambiental;
-) La evaluación ambiental estratégica;
-) Los planes de gestión ambiental;
-) Los sistemas de gestión ambiental;
-) El control de las actividades antrópicas;
-) La fijación de estándares y normas;
-) La educación ambiental;
-) La información y diagnóstico ambiental;
-) La participación ciudadana para la convivencia ambiental;
-) El seguro ambiental;
-) Las medidas de autogestión, incentivos y alicientes ambientales.

Entre los artículos 15° al 37°, esta ley establece que los proyectos públicos y privados consistentes en la realización de obras, instalaciones o cualquier otra actividad comprendida en el listado deben someterse obligatoriamente al proceso de Evaluación de Impacto Ambiental, previo a su ejecución. Para lograr dicho objetivo, esta Ley establece la creación de *la Comisión Técnica Interdisciplinaria para la Evaluación del Impacto Ambiental*, Cuya función es evaluar técnicamente los potenciales impactos producidos sobre el ambiente por los proyectos de

obras y acciones públicas y privadas a desarrollarse en el ámbito de la Provincia de Córdoba, así como la previsión de incorporación, en dichos proyectos, de medidas de mitigación o el desarrollo de obras y acciones complementarias para atenuar esos impactos.

Esta Comisión se integra por representantes de los ministerios, organismos dependientes del Poder Ejecutivo Provincial y entes descentralizados del Estado Provincial designados por sus respectivos organismos.

Se establece además a la audiencia pública como procedimiento obligatorio para los proyectos o actividades que estén sometidas obligatoriamente a Evaluación de Impacto Ambiental enunciados en el Anexo I de la mencionada Ley. La Autoridad de Aplicación debe institucionalizar las audiencias públicas y establecer los otros mecanismos de consulta para los demás proyectos que no están sometidas obligatoriamente a Evaluación de Impacto Ambiental.

4.4.2.1 - EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA

La Evaluación Ambiental Estratégica, definida en el artículo 37°, es el procedimiento iniciado por el área del ministerio sectorial respectivo para que se incorporen las consideraciones ambientales del desarrollo sustentable al proceso de formulación de las políticas, programas y planes de carácter normativo general que tengan impacto sobre el ambiente o la sustentabilidad, de manera que ellas sean integradas en la formulación e implementación de la respectiva política, programa y plan, y sus modificaciones sustanciales, y que luego es evaluado por la Autoridad de Aplicación.

La Evaluación Ambiental Estratégica tiene como finalidad y objetivos:

-) Incidir en los niveles más altos de decisión política-estratégica institucional;
-) Aplicarse en la etapa temprana de la toma de decisiones institucionales;
-) Ser un instrumento preventivo;
-) Implicar una mejora sustantiva en la calidad de los planes y políticas públicas;
-) Permitir el diálogo entre los diversos actores públicos y privados;
-) Contribuir a un proceso de decisión con visión de sustentabilidad;
-) Mejorar la calidad de políticas, planes y programas;
-) Fortalecer y facilitar la Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, e
-) Promover nuevas formas de toma de decisiones.

Expreso en el artículo 41°, “Créase el Consejo de Desarrollo Sustentable, presidido por el Ministro de Agua, Ambiente y Servicios Públicos e integrado por los ministros de las restantes carteras -o los organismos que los reemplacen en el futuro- y miembros de las fuerzas políticas con representación en el Poder Legislativo Provincial”

La Educación Ambiental es un instrumento prioritario en la implementación de la Política Ambiental Provincial. La formación y capacitación continua en materia ambiental debe constituir un objetivo prioritario para la Autoridad de Aplicación, así lo expresa la ley en su artículo 52°.

Información Ambiental Provincial

En lo referente al acceso a la información, como la obligación de informar, esta ley manifiesta (arts. 54° y 56°) que las personas físicas y jurídicas -públicas o privadas- deben proporcionar a la Autoridad de Aplicación la información que esté relacionada con la calidad ambiental y referida a todas las actividades que desarrollan en el territorio provincial.

El acceso a la información pública ambiental es un derecho reconocido en la Ley Nacional N° 25.831 -Régimen de Libre Acceso a la Información Pública Ambiental- y en la Ley Nacional N° 25.675 -General del Ambiente- que la Provincia profundizará en su instrumentación y funcionamiento a través de la Autoridad de Aplicación.

Medidas de Autogestión, Incentivos y Alicientes Ambientales

Los criterios para la implementación de incentivos y alicientes ambientales, descritos en el artículo, 76° tendrán en cuenta que, además del cumplimiento normativo ambiental en el desarrollo de las actividades, se ponderen aquellas que cumplan alguno de los siguientes requisitos:

-) Actividades y empresas que hayan reducido la emisión de gases de efecto invernadero;
-) Emprendimientos que hayan reducido su huella de carbono;
-) Actividades y empresas que hayan implementado acciones en el marco de un sistema de responsabilidad empresaria;
-) Actividades y empresas que promuevan la eficiencia energética y el uso de las energías renovables o alternativas;
-) Actividades y empresas que promuevan la adaptabilidad a los cambios ambientales (cambio climático en particular);
-) Actividades y empresas que propendan a la minimización y gestión integral sustentable de los residuos;
-) Actividades o explotaciones agropecuarias que implementen prácticas de uso de suelo sustentables o conservacionistas, y
-) Toda otra actividad que propenda a reducir los riesgos relevantes para el ambiente.

Fondo de Protección Ambiental

Entre los instrumentos que esta ley dispone para actuar de forma efectiva en el mejoramiento de su SGA, se destaca la creación del mencionado fondo de protección el cual guarda una estrecha relación con este trabajo en la medida que éste último determine lineamientos de inversión en vistas de generar mejoras cuantitativas y/o cualitativas en el SGA de la provincia.

Ente sus artículos 79° y 81°, esta ley crea el Fondo de Protección Ambiental Provincial (FOPAP) cuya administración corresponde a la Autoridad de Aplicación, con asesoramiento del Consejo Provincial del Ambiente conformado según la Ley N° 7343, sus modificatorias y su Decreto Reglamentario N° 458/00.

El Fondo de Protección Ambiental Provincial tiene por objeto: a) Financiar -total o parcialmente- iniciativas ciudadanas orientadas a proteger, conservar o recuperar la naturaleza, el ambiente y/o el patrimonio ambiental, las que serán seleccionadas por el Consejo Provincial del Ambiente, y b) Sustener los planes ambientales territoriales, los planes estratégicos ambientales y los planes quinquenales de salud.

Diagnóstico Ambiental Provincial

La Autoridad de Aplicación debe elaborar un informe anual sobre el estado del ambiente en el territorio provincial, tal cual lo expresa el artículo 87°, llevar adelante la publicidad del mismo y elevarlo al Poder Legislativo antes del día 30 de noviembre de cada año.

Esto tiene como objetivo que el informe pueda ser leído y debatido antes de que finalice el Período Ordinario de Sesiones (Artículo 96 de la Constitución Provincial), por si surge la necesidad de aplicar acciones de emergencia. El informe contendrá:

1. La descripción de amenazas y problemáticas que afecten el ambiente provincial y sus ecosistemas.
2. Las acciones previstas para subsanarlos.

Uno de los objetivos principales de este trabajo, como se mencionó oportunamente, es de brindar información fidedigna que sirva de punto de partida para la toma de decisiones en materia del SGA. Esta particularidad hace necesario el relevamiento de la situación actual del SGA de la provincia.

4.5 - NORMATIVA REFERIDA AL IMPACTO AMBIENTAL

La Ley N° 8906 “**Sistema de Defensa Civil**”, Comprende el conjunto de previsiones y medidas de carácter general tendientes a prevenir, evitar, reducir y reparar los efectos de los eventos adversos resultantes de la acción de agentes naturales o antrópicos susceptibles de ocasionar un grave daño a la población, a los bienes públicos, privados y al medio ambiente, así como aquellas que contribuyen a restablecer la normalidad en la zona afectada. Designa Autoridad de aplicación a la JUNTA PROVINCIAL DE DEFENSA CIVIL.

La Ley N° 8167 “**Preservación del Aire**” tiene por objeto preservar y propender al estado normal del aire en todo ámbito de la Provincia de Córdoba. Detalla los contaminantes y sus valores máximos según la actividad realizada; se refiere además a las fuentes móviles de contaminación, prohibiendo la circulación de vehículos automotores, utilitarios y de pasajeros aún matriculados, registrados o patentados en otras jurisdicciones, cuando la emisión de humo medio supere los valores máximos admitidos.

La Ley N° 5589 “**Código de Aguas**” (modificado por las leyes N° 8853 y 8928), se refiere al uso de las aguas y defensa contra sus efectos nocivos que contiene principios generales que armónicamente permitan solucionar las múltiples situaciones que puedan plantearse, dando pautas generales al Estado para su accionar y seguridad y justicia a los administrados y a los que en razón del uso de las aguas y defensa contra sus efectos nocivos vean restringido el ejercicio de su derecho de dominio.

En el art. 46, se manifiesta a “**prohibición de vuelco**”, descarga o inyección de efluentes contaminantes a las masas superficiales y subterráneas de agua cuando superen los valores máximos permitidos y/o alteren las normas de calidad fijadas para cada masa hídrica.

Ley N° 9088 Ley de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Es aplicable a la generación, transporte, tratamiento, eliminación y disposición final de RSU, derivados de la poda, escombros, desperdicios de origen animal, enseres domésticos y vehículos en desuso y todo otro residuo de características similares producidos en las actividades urbanas, con excepción de los patógenos, radioactivos, peligrosos u otros que por sus características deben ser sometidos a tratamientos especiales antes de su eliminación (art. 1). Establece condiciones mínimas de cumplimiento obligatorio para el tratamiento y disposición final, a través de vertederos controlados. Crea el “Fondo de Gestión de Residuos Urbanos de Córdoba”, destinado a la educación ciudadana, participación comunitaria en la gestión de RSU y a la investigación sobre la aplicación de medidas preventivas y de protección ambiental en la materia, tal como pretende el presente informe.

4.6 - SÍNTESIS Y CONCLUSIONES:

El contexto internacional, en el que Argentina está inmerso, resulta muy favorable para concreción de proyectos de tipo MDL. Por un lado, es notorio el desarrollo de la estructura jurídica que ha avanzado en la comprensión de los impactos ambientales derivados del manejo de los residuos, a diferencia de otros países en vías desarrollo.

Por otro lado, resulta de vital importancia que el gobierno nacional instrumente medidas de desarrollo de tecnologías que promuevan proyectos MDL como así también, medidas tendientes a mejorar el control de las disposiciones finales de los residuos.

En una economía en recesión resulta muy provechoso contar con el apoyo de entidades internacionales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en relación las tasas de interés y financiamientos que ofrece ante este tipo de proyectos.

CAPÍTULO 5: METODOLOGÍA

5.1 - INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se describe la metodología empleada para la estimación de producción de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición de la fracción orgánica de los RSU. Consecuentemente se define y describe el modelo de estimación de biogas seleccionado para el proyecto, como así también se expone una descripción de cómo serán presentados y analizados los resultados de las estimaciones de producción de la Provincia de Córdoba.

El programa LandGEM, será utilizado para estimar las producciones de biogas de cada región, para lo cual es necesario definir y estimar las variables que intervienen en el cálculo de las estimaciones.

Una vez estimadas las cantidades de biogas, es posible separar las cantidades de combustible asociado, del metano (50% del biogas), de las cantidades de emisiones de Carbono Equivalente susceptibles de ser reducidas, traducibles directamente en Bonos de Carbono.

Para cada uno de los seis casos planteados, se realizará un flujo de fondos, referente a los ingresos generados por la producción de energía renovable y la transacción de bonos de carbono pudiendo así determinar el o los escenarios más favorables de gestión de residuos de la Provincia de Córdoba.

5.2 - MODELO DE ESTIMACIÓN

“LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL (LandGEM)

5.2.1 - DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El modelo “*Landfill Gas Emissions Model*” (LandGEM), desarrollado por el *National Risk Management Research Laboratory* (NRMRL) y el *Clean Air Technology Center* (CATC) para la *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) en 2005, es una herramienta de estimación automatizada, encuadrada en el programa de cálculo *Microsoft Excel*.

Esta herramienta es utilizada para estimar las emisiones producidas en un vertedero de RSU, tanto de Metano, como de cada uno de los demás componentes de dichas emisiones (componentes orgánicos que no sean metano y otros tipos de contaminantes atmosféricos), debido a la naturaleza heterogénea de los RSU vertidos.

Los datos que requiere el **LandGEM** para estimar las emisiones que se van a producir en un vertedero de RSU, son básicamente:

-) El año de apertura.
-) El de clausura.
-) La cantidad anual de RSU depositados.
-) L_0 - Generación Potencial de Metano f (tipo y composición de los RSU)
-) k - Índice o tasa de Generación de Metano f (temperatura, humedad, nutrientes y pH)

Si se desconoce el año de clausura, landGEM lo calcula teniendo en cuenta la cantidad de RSU anual que se introduzca y la capacidad total calculada del vertedero, el modelo asume que la última cantidad de RSU que se ha introducido será la misma hasta el final de la vida del vertedero y así, sabiendo la capacidad del mismo puede calcular el año de clausura.

LandGEM estima la generación de biogás usando cantidades de residuos dispuestos acumulados a través de un año. Las proyecciones para años múltiples se desarrollan variando la proyección del anual y luego iterando la ecuación. El año de generación máxima normalmente ocurre en el año de clausura o el año siguiente (dependiendo del índice de disposición en los años finales).

LandGEM utiliza la siguiente ecuación de velocidad de descomposición de primer orden para estimar las emisiones anuales de CH_4 durante un período de tiempo especificado.

$$Q_{(CH_4)} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 K \left(\frac{M_i}{1} \right) e^{(-k t_{ij})}$$

Dónde:

-) $Q_{(CH_4)}$ = Generación anual de metano en el año del cálculo ($m^3 / \text{año}$).
-) i = Incremento de tiempo (1 año).
-) n = (año del cálculo) - (año inicial de aceptación de residuos).
-) j = Incremento de tiempo (0,1 años).
-) k = Tasa de generación de metano (año^{-1}).
-) L_0 = Potencial de generación de metano (m^3 / ton).
-) M_i = Cantidad de residuos recibidos en el año "i" (ton).
-) t_{ij} = Edad de la sección j de cantidad M_i de residuos aceptado en el año "i" (años decimales).

La ecuación anterior estima la generación de biogás usando cantidades de residuos dispuestos acumulados a través de un año. Proyecciones para años múltiples son desarrolladas variando la proyección del anual y luego iterando la ecuación. El año de generación máxima normalmente ocurre en el año de clausura o el año siguiente (dependiendo del índice de disposición en los años finales).

Con la excepción de los valores de k y L_0 , el modelo requiere datos específicos del relleno en cuestión para producir las proyecciones de generación.

La EPA reconoce que es difícil modelar la generación y recuperación de biogás en forma exacta debido a las limitaciones en la información disponible para alimentar el modelo. Sin embargo, con la construcción y operación de nuevos rellenos sanitarios, la disponibilidad de nueva información hará posible la calibración del modelo y el desarrollo de unos valores de k y L_0 más ajustados a la realidad.

5.3 - UTILIZACIÓN DEL MODELO



Figura 5. 1 - Interfaz LandGEM

En el siguiente listado se describen los aspectos más relevantes de la interfaz del software con el usuario, describiendo las entradas que requiere el programa para realizar las estimaciones, como así también las salidas que ofrece el mismo para interpretar los resultados.

1) GENERALIDADES DE LA VERSIÓN 3.02

2) CARACTERÍSTICAS DEL VERTEDERO

(Nombre del Relleno Sanitario, año de apertura, año de clausura, opción de calcular el año del clausura a través del modelo y la capacidad diseñada de Residuos).

CAPACIDAD DEL RELLENO

La capacidad del relleno representa la cantidad total de residuos que pueden eliminarse en el vertedero, o la cantidad de "desechos en el lugar" al cerrarse.

La capacidad de diseño se puede introducir en unidades métricas de megagramos [Mg] (tonelada métrica) o unidades inglesas de toneladas cortas. La unidad de medida predeterminada para el Diseño de Residuos de la capacidad es megagramos (tonelada).

3) DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO (k y L_0)

Los factores de emisión de gases de rellenos sanitarios por defecto se desarrollaron a partir de datos empíricos de los vertederos de RSU estadounidenses. La composición de los residuos en los rellenos sanitarios de Estados Unidos refleja la composición de residuos incluyendo los RSU, material inerte, y otros flujos de residuos no peligrosos.

El valor de k está en función de los siguientes factores:

-) Contenido de humedad en los residuos.
-) La disponibilidad de nutrientes para las bacterias generadoras de metano.
-) pH.
-) Temperatura.

Los residuos tienen diferentes valores de k dado a las diferencias en los índices de decaimiento. Residuos alimenticios se descomponen más rápido que el papel y la madera. Los valores de k dependen del clima especialmente de la precipitación.

El modelo cuenta con valores predefinidos para categorizar las fracciones de RSU según su degradabilidad y en base a esta última, junto con los niveles de precipitaciones anuales, se puede obtener una estimación confiable de la tasa de generación k propia de la composición y el destino final de los RSU.

El valor de la generación potencial de metano en los residuos (L_0) solo depende en el tipo de residuos presente en el relleno sanitario con excepción de los climas seco donde la falta de humedad limite la generación de metano.

Los valores teóricos L_0 varían entre 6.2 y 270 m³/ton de residuos (EPA, 1991).

Al menos que se cuente con valores específicos de L_0 para el relleno sanitario en cuestión, los valores de L_0 serán calculados automáticamente por el modelo.

4) SELECCIÓN DE GASES QUE SE DESEA ESTIMAR

El modo permite elegir entre los cuatro gases y los cuarenta y seis contaminantes del aire a modelar al mismo tiempo. Estos figuran, junto a sus datos asociados, en la Tabla 5. 1 de la página siguiente.

En cuanto al contenido de Metano (CH₄) y Dióxido de Carbono (CO₂), LandGEM supone que el gas de vertedero es 50% Metano y 50% Dióxido de Carbono, con los adicionales constituyentes de NMOC y otros contaminantes del aire. La producción de metano (determinada usando la ecuación de velocidad de descomposición de primer orden), no se ve afectada por la concentración de metano. Sin embargo, la concentración de metano afecta a la producción calculada de dióxido de carbono ya que, la cantidad de dióxido de carbono (QCO₂) se calcula a partir de la producción de metano (QCH₄) y el porcentaje de contenido de metano (PCH₄) usando la siguiente ecuación: Esta ecuación proviene de:

$$Q_{C_2} = Q_{C_4} \times \{ [1 / (P_{C_4} / 100)] - 1 \}$$

$$Q_{C_4} = Q_{C_2} + Q_{C_4}$$

$$Q_{C_4} = Q_{C_2} \times (P_{C_4} / 100)$$

$$Q_{C_2} = Q_{C_4} - Q_{C_4} = [Q_{C_4} / (P_{C_4} / 100)] - Q_{C_4}$$

$$Q_{C_2} = Q_{C_4} \times \{ [1 / (P_{C_4} / 100)] - 1 \}$$

Donde Q_{total} representa la producción total de gas.

Tabla 5.1 - Gases/Contaminantes predeterminados utilizadas en LandGEM

GAS/CONTAMINANTE	CONCENTRACIÓN (ppmv)	PESO MOLECULAR	NOTAS*
GASES			
Gas total de vertedero	No aplica	30.03	
Metano	No aplica	16.04	
Dióxido de Carbono	No aplica	44.01	
NMOCs	4.000 para CAA	86.18	
	600 para co-disposición nula o		
	2.400 para co-disposición de		
CONTAMINANTES			
Tricloroetano (metilcloroformo)	0.48	133.41	A
Tetracloroetano	1.1	167.85	A,B
Dicloroetano (dicloruro de etiliden)	2.4	98.97	A,B
Dicloroetano (cloruro de vinilideno)	0.20	96.94	A,B
Dicloroetano (dicloruro de etileno)	0.41	98.96	A,B
Dicloropropano (dicloruro de	0.18	112.99	A,B
Propanol (alcohol isopropílico)	50	60.11	B
Acetona	7.0	58.08	
Acrilonitrilo	6.3	53.06	A,B
Benzina	1.9 para eliminación conjunta nula	78.11	A,B
	11 para eliminación conjunta		
Bromodichlorometano	3.1	163.83	B
Butano	5.0	58.12	B
Disulfuro de carbono	0.58	76.13	A,B
Monóxido de carbono	140	28.01	A,B
tetracloruro de carbono	4.0x10-3	153.84	A,B
El sulfuro de carbonilo	0.49	60.07	A,B
clorobenceno	0.25	112.56	A,B
clorodifluorometano	1.3	86.47	
El cloroetano (cloruro de etilo)	1.3	64.52	A,B
cloroformo	0.03	119.39	A,B
El clorometano	1.2	50.49	B
diclorobenceno	0.21	147	B,C
diclorodifluorometano	16	120.91	
diclorofluorometano	2.6	102.92	B
Diclorometano (cloruro de metileno)	14	84.94	A
Sulfuro de dimetilo (sulfuro de	7.8	62.13	B
Etano	890	30.07	
Etanol	27	46.08	B
Mercaptano de etilo (etanotiol)	2.3	62.13	B
El etilbenceno	4.6	106.16	A,B
Dibromuro de etileno	1.0x10-3	187.88	A,B
Fluorotriclorometano	0.76	137.38	B
Hexano	6.6	86.18	A,B
El sulfuro de hidrógeno	36	34.08	
Mercurio (total)	2.9x10-4	200.61	A
Metil etil cetona	7.1	72.11	A,B
Metilisobutilcetona	1.9	100.16	A,B
El metil mercaptano	2.5	48.11	B
Pentano	3.3	72.15	B
El percloroetileno (tetracloroetileno)	3.7	165.83	A
Propano	11	44.09	B

*A. contaminantes peligrosos del aire (HAP, "Hazardous air pollutants") definido por la EPA.

*B. Considerado compuestos orgánicos volátiles (COV), definido por la EPA en 40 CFR 51.100 (s).

*C. Las pruebas de fuente no indicaron si este compuesto era el isómero para- u orto- isómero.

5) DATOS DE RECEPCIÓN DE RESIDUOS

Las tasas de admisión de residuos se introducen por el usuario en la hoja de cálculo para estimar correctamente las emisiones. El usuario debe introducir los índices de aceptación de residuos anuales para cada año en una tabla de aceptación de residuos del vertedero, desde el año de apertura, el año en curso, hasta el año de clausura o cierre del vertido de residuos.

6) IMPRESIÓN DE DATOS DE ENTRADA

Para revisar las entradas, ya que serán utilizados por LandGEM, existe una hoja de revisión de Información. Todos los datos introducidos en la hoja de entradas del usuario, así como entradas determinadas por el modelo, como el año y las tasas de aceptación de residuos clausura del relleno (calculado como los interpreta LandGEM), aparecen en la hoja de revisión de la Información.

7) VISUALIZACIÓN E IMPRESIÓN DE RESULTADOS TABULADOS

El usuario puede consultar la “hoja de resultados” para observar las estimaciones de emisiones en formato tabular. Los datos en la hoja de resultados incluyen:

-) El año de cierre del relleno sanitario (siempre que el usuario haya solicitado calcular),
-) El contenido de metano derivado de los datos ingresados por el usuario en la hoja de trabajo,
-) Los años de aceptación de residuos desde el año de apertura hasta el año de clausura del vertedero,
-) Las tasas de admisión de los residuos anual utilizados por el modelo en toneladas por año.
-) Las cantidades anuales de residuos en el lugar sobre la base de los índices de aceptación utilizados por el modelo, en toneladas métricas.
-) Estimaciones de las emisiones anuales de los gases/contaminantes seleccionados en la “hoja de entradas del usuario” en toneladas por año, metros cúbicos por año, y una tercera unidad de medida que se puede seleccionar en el menú desplegable.

Es importante señalar que cuando se supone que el contenido de metano a ser del 50 por ciento en volumen (valor por defecto), las tasas de emisión de metano y dióxido de carbono serán idénticas en términos de volumen (por ejemplo, metros cúbicos por año) ya que el dióxido de carbono también se supone que es un 50 por ciento en volumen.

Sin embargo, las tasas de emisión de metano y dióxido de carbono serán diferentes el uno del otro sobre una base de masa (por ejemplo, toneladas/año) porque el metano y el dióxido de carbono tienen diferentes pesos moleculares y, por lo tanto, diferentes emisiones de masa.

8) VISUALIZACIÓN E IMPRESIÓN DE GRÁFICOS DE RESULTADOS

La “hoja de gráficos”, le permite al usuario ver las estimaciones de las emisiones en un formato gráfico. Un total de tres gráficos se generan para cada escenario planteado en la hoja de resultados (uno por cada unidad de medida de las emisiones). Los gráficos más relevantes están en unidades de toneladas por año y metros cúbicos por año, respectivamente.

9) VISUALIZACIÓN E IMPRESIÓN DE RESULTADOS DE INVENTARIO

La “hoja de inventario”, le permite al usuario visualizar las estimaciones de emisiones para el uso en los inventarios de emisiones. Esta hoja de trabajo le permite ver e imprimir estimaciones de las emisiones para un año en particular, para todos los gases o contaminantes en toneladas por año, de metros cúbicos por año, de pies cúbicos promedio por minuto, pies cúbicos por año.

10) VISUALIZACIÓN E IMPRESIÓN DE LA SÍNTESIS DEL INFORME LandGEM

Esta sección, “hoja de informe o reporte”, le permite al usuario ver una síntesis del informe generado por el programa.

La información contenida en el informe de síntesis sobre la “hoja de informe o reporte” incluye:

-) Una portada que muestra la pantalla de título LandGEM
-) Vertedero Nombre o identificador y Descripción
-) Comentarios introducidos por el usuario en la “hoja de entradas del usuario”, la fecha actual, la ecuación de velocidad de descomposición de primer orden utilizado para estimar las emisiones, y una descripción general del modelo.

-) Los datos contenidos en la hoja de Información para la revisión, incluyendo las características de vertederos, los parámetros del modelo, gases/contaminantes seleccionados, los índices de aceptación de residuos, y cantidades anuales de residuos en el vertedero.
-) Estimación de emisión en formato gráfico, como se muestra en el gráfico de la hoja de trabajo.
-) Estimación de emisión en formato de tabla, de la “hoja de informe o reporte”.

5.4 - DETERMINACIÓN DE VALORES A UTILIZAR EN LANDGEM

En esta sección se describe como se determinan las fuentes de los distintos valores necesarios para operar el modelo de estimación como así también para analizar los resultados.

Para la implementación del modelo se requiere conocer los siguientes parámetros:

-) Identificar los vertederos a analizar.
-) Características geométricas y capacidad de cada vertedero.
-) Forma de operación de los vertederos.
-) Cantidad de residuos a disponer en el vertedero.
-) Composición de los residuos a disponer en el vertedero.
-) Características climáticas de la zona de emplazamiento de los vertederos.
-) Determinación de los parámetros de generación L_0 y k .

5.4.1 - VERTEDEROS A CONSIDERAR: DIVISIÓN DEL TERRITORIO PROVINCIAL EN REGIONES

Para la regionalización de la Provincia, la Agencia Córdoba Ambiente, consideró la distribución de Vertederos Controlados y Estaciones de Transferencia cercanos a los puntos de mayor generación de residuos. De esta manera, se diseñó un sistema que comprende doce regiones con doce (12) vertederos controlados y 21 estaciones de transferencia.

Al dividir a la provincia en regiones limpias, se logra la escala necesaria para establecer las estimaciones necesarias en lo que refiere a producción, composición, recuperación y vertido de RSU y posibilita vincular estos valores con las características demográficas propias de cada región (ver Figura 5. 2).

Una región limpia es una porción del territorio provincial que incluye un conjunto de localidades, cada región está compuesta por:

-) un vertedero controlado y
-) un sistema de estaciones de transferencia de residuos.

El parámetro de corte de la región está vinculado a las condiciones del transporte de los residuos (costo de flete) desde los centros de generación (localidades) al punto de disposición final (vertedero controlado).

A continuación se presentan las doce regiones limpias, las localidades que comprenden y la ubicación de los Vertederos Controlados y Estaciones de Transferencia propuestas las cuales serán objeto de estudio de emisiones de biogas.

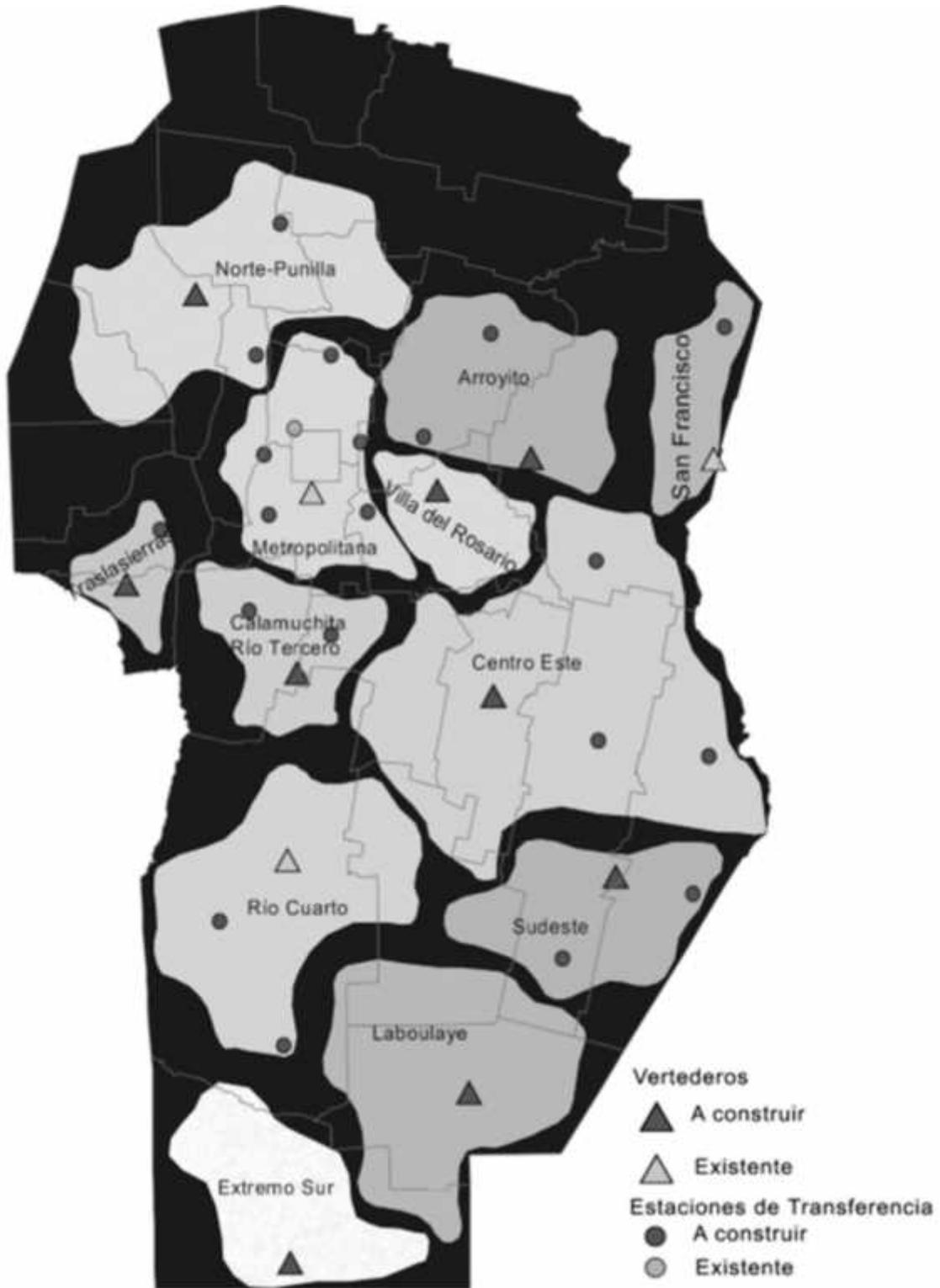


Figura 5. 2 - Regiones Limpias. Provincia de Córdoba

Fuente: Agencia Córdoba Ambiente, 2001, Programa "Córdoba Limpia"

1. Región Punilla - Norte

Comprende las localidades de Chuña, Los Chañaritos, Media Naranja, Olivares de San Nicolás, El Brete, Las Playas, Serrezuela, Paso Viejo, Tuclame, Las Cañadas, Bañado de Soto, Villa de Soto, Tosno, Cruz de Caña, Talaini, San Carlos Minas, Estancia de Guadalupe, La Higuera, Guasapampa, Ciénaga del Coro, La Playa, San Marcos Sierras, Copacabana, Charbonier, La Cumbre, Los Cocos, San Esteban, Capilla del Monte, Casa Grande, Valle Hermoso, La Falda, Huerta Grande, Villa Giardino, Quilino, Simbolar, San José de la Dormida, Villa Tulumba, Cañada de Río Pinto, Villa Gutiérrez, Avellaneda, Los Pozos, Sarmiento, Villa del Totoral, Los Mistoles, Las Peñas, Cañada de Luque, Candelaria Sud, Deán Funes y Cruz del Eje.

Se propone la construcción de un Vertedero Controlado en la localidad de Cruz del Eje y dos Estaciones de Transferencia: Deán Funes y La Cumbre.

2. Región Traslasierras

Comprende las localidades de Mina Clavero, Villa de Las Rosas, Las Tapias, Panaholma, San Lorenzo, Villa Cura Brochero, Arroyo de los Patos, Nono, Las Calles, Las Rabonas, Los Hornillos, Sauce Arriba, Villa Sarmiento, San Pedro, La Paz, Luyaba, La Población, San Javier y Yacanto, Los Cerrillos, San José, San Vicente, Conlara, y Villa Dolores.

Se propone un Vertedero Controlado en la localidad de Villa Dolores y una Estación de Transferencia en Mina Clavero.

3. Región Arroyito

Comprende las localidades de Atahona, Chalacea, Maquinista Gallini, Obispo Trejo, Las Saladas, Plaza de Mercedes, Marull, Miramar, Balnearia, La Para, Villa Fontana, Diego de Rojas, La Puerta, Comechingones, El Crispín, Esquina, Santa Rosa de Río Primero, Piquillín, Km 658, Río Primero, Colonia Las Pichanas, Villa Concepción del Tío, La Francia, El Tío, La Quinta, Las Gramillas, Colonia Las Cuatro Esquinas, Toro Pujio, La Tordilla, Sagrada Familia, Santiago Temple, Los Chañaritos, Tránsito y Arroyito.

Se propone un Vertedero Controlado en la localidad de Arroyito y dos Estaciones de Transferencia: La Puerta y Río Primero.

4. Región Villa del Rosario

Comprende las localidades de Costa Sacate, Rincón, Cañada de Machado, Capilla del Carmen, Sacanta, Calchín, Luque, Colazo, Las Junturas, Matorrales, Calchín Oeste y Villa del Rosario.

Se reacondicionará el Vertedero Controlado ya existente en la localidad de Villa del Rosario.

5. Región San Francisco

Comprende las localidades de Altos de Chipión, La Paquita, Morteros, Colonia San Pedro, Colonia Vignaud, Brinkmann, Seeber, Porteña, Colonia Valtelina, Colonia Anita, Freyre, Colonia Iturraspe, Colonia Marina, Plaza Luxardo, Devoto, Colonia Prosperidad, Quebracho Herrado y San Francisco.

Se reacondicionará el Vertedero Controlado ya existente en la localidad de San Francisco y se propone una Estación de Transferencia en la localidad de Porteña.

6. Región Metropolitana

Agua de Oro, Villa Cerro Azul, EL Manzano, Salsipuedes, Río Ceballos, Unquillo, Mendiolaza, Estación General Paz, Estación Juárez Celman, Colonia Tirolesa, Mi Granja, Malvinas Argentinas, Monte Cristo, Toledo, Río Segundo Pilar, Lozada, Rafael García, Carlos Paz, Tanti, Cabalango, Villa Santa Cruz del Lago, Estancia Vieja, Cuesta Blanca, Icho Cruz, Mayu Sumaj, San Antonio de Arredondo, Malagueño, Villa Parque Santa Ana, Falda del Carmen, Villa del Prado, Alta Gracia, Villa La Bolsa, Anisacate, Dique Chico, Los Molinos, Villa San Isidro, Villa Ciudad de América, La Rancherita, La Serranita, Villa Los Aromos, La Paisanita.

Se utilizará el Vertedero Controlado ya existente en la localidad de Córdoba y se proponen 6 Estaciones de Transferencia: Alta Gracia, Río Segundo, Carlos Paz, Villa Allende, Estación General Paz y Montecristo.

7. Región Villa Nueva

Comprende las localidades de Colazo, James Craik, Oliva, Tío Pujio, Las Isletillas, Hernando, General Fotheringham, Pampayasta Norte, Pampayasta Sud, Punta del Agua, Las Perdices, General Deheza, Arroyo

Cabral, Ticino, La Palestina, Luca, Dalmacio Vélez, Los Zorros, Arroyo Algodón, La Playosa, Pozo del Molle, Silvio Pellico, Ana Zumarán, Alto Alegre, Ballesteros, Ballesteros Sud, Santa Eufemia, Chazón, Uchacha, Etruria, Idiazábal, La Laguna, Ausonia, Pasco, Alicia, El Arañado, El Fortín, Las Varillas, Las Varas, Cintra, San Antonio de Litín, Chilibroste, Monte Buey, Justiniano Posse, Ordóñez, Villa Los Patos, San Marcos Sud, Monte Leña, Mórrison, Bell Ville, Noetinger, Saira, Cruz Alta, Los Surgentes, Inrville, Saladillo, Villa Elisa, Leones, General Roca, Marcos Juárez, Villa María, y Villa Nueva.

Se propone la construcción de un Vertedero Controlado en la localidad de Villa Nueva y tres Estaciones de Transferencia: Las Varillas, Marcos Juárez y Bell Ville.

8. Región Ctalamuchita

Comprende las localidades de Villa Ciudad Parque Los Reartes, La Cumbrecita, Los Reartes, Villa General Belgrano, Villa Yacanto, Calmayo, Villa Amancay, San Ignacio, Amboy, Santa Rosa de Calamuchita, Corralito, Colonia Almada, Villa Ascasubi, Tancacha, Río Tercero, Villa Rumipal, Villa del Dique, Segunda Usina, Villa Quillinzo, La Cruz, Embalse, Las Bajadas, San Agustín, Almafuerte, Río de los Sauces, Elena, Cañada del Sauce, Las Caleras, Berrotarán, y Los Cóndores.

Se propone la construcción de un Vertedero Controlado en la localidad de Los Cóndores y tres Estaciones de Transferencia: Santa Rosa de Calamuchita, Almafuerte y Río Tercero.

9. Región Río Cuarto

Comprende las localidades de General Cabrera, Carnerillo, Alcira, Coronel Baigorria, Las Albahacas, Villa El Chacay, Alpa Corral, Suco, Bulnes, Sampacho, Las Vertientes, Malena, Santa Catalina, La Carolina, Las Higueras, Chucul, San Basilio, Río Cuarto, Charras, Olaeta, Reducción, Las Acequias, Alejandro Roca, Bengolea, Vicuña Mackenna, Tosquita, Washington, Coronel Moldes, Chaján, Achiras, y Paso del Durazno.

Se utilizará el Vertedero Controlado ya existente en la localidad de Río Cuarto y se proponen dos Estaciones de Transferencia: Vicuña Mackenna y Sampacho.

10. Región Monte Maíz

Comprende las localidades de Los Cisnes, La Carlota, Aldea Santa María, Arias, Alejo Ledesma, Benjamín Gould, Canals, Colonia Bremen, Cavanagh, Guatimozín, Colonia Bismarck, Colonia Italiana, Corral de Bustos, Capitán General B. O'Higgins, Isla Verde, Camilo Aldao, General Baldissera, Colonia Barge, Pascanas, Laborde, Wenceslao Escalante y Monte Maíz.

Se propone la construcción de un Vertedero Controlado en la localidad de Monte Maíz y dos Estaciones de Transferencia: Corral de Bustos y Canals.

11. Región Laboulaye

Comprende las localidades de Laboulaye, Pueblo Italiano, La Cesira, Viamonte, Villa Rossi, Rosales, Leguizamón, Pacheco de Melo, El Rastreador, Huanchilla, Monte de los Gauchos, Adelia María, La Cautiva, General Levalle, Río Bamba, Melo, Serrano, Hipólito Bouchard, San Joaquín y Jovita.

Se propone la construcción de un Vertedero Controlado en la localidad de Laboulaye.

12. Región Huinca Renancó

Comprende las localidades de Villa Sarmiento, Villa Valeria, Del Campillo, Nicolás Brozone, Mattaldi, Onagoity, Italo, Pincén, Ranqueles, Villa Huidobro y Huinca Renancó y una Estación de Transferencia en Nicolás Bruzone.

Se propone la construcción de un Vertedero Controlado en la localidad de Huinca Renancó.

5.4.2 - DISEÑO DE VERTEDERO CONTROLADO

Respecto al diseño de los vertederos a construir, dependerá de las condiciones hidrogeológicas de cada emplazamiento, de todas maneras existe un plan de diseño básico (anteproyecto) que todos los vertederos regionales deberán cumplir como mínimo. En el diseño mismo de la ingeniería básica de los vertederos controlados están incorporadas consideraciones ambientales con el objeto de minimizar los posibles impactos de este tipo de instalaciones.

Junto al diseño de los vertederos controlados, se diseñaron los manuales de operaciones, de higiene & seguridad del personal, así como las operaciones de monitoreo ambiental y control de vectores. Estas herramientas

permitirán garantizar una correcta operación de los mismos, mientras que por otro lado, permitirán a la Agencia Córdoba Ambiente establecer términos de referencia para llevar adelante la supervisión y control de las operaciones.

La ingeniería básica de los vertederos considera dos tipos de instalaciones, que son denominadas: Básicas y complementarias. Como su nombre lo indica la instalación básica comprende instalaciones con las que contarán obligatoriamente todos los Vertederos Regionales. Estas permitirán alcanzar un mínimo de prestaciones y calidad de las operaciones.

El siguiente listado comprende las denominadas instalaciones básicas:

-) Cerco Perimetral.
-) Control de accesos con barreras y Casilla de control.
-) Oficinas administrativas.
-) Instalaciones y núcleos sanitarios para el personal.
-) Instalaciones para mantenimiento general.
-) Balanza para camiones.
-) Sistema de control y extracción de lixiviados
-) Planta de tratamiento de lixiviados.
-) Red de monitoreo freático.
-) Área de recepción de residuos de particulares.
-) Área de pre procesamiento de residuos.
-) Módulos para la Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos, con sistemas de impermeabilización de bases y taludes, así como sistemas de cobertura intermedia y final de los mismos.
-) Módulos para la disposición de residuos de Construcción, demolición y objetos voluminosos
-) Sistema de control y Gestión de gases del vertedero
-) Tratamiento del paisaje, mediante barreras forestales y visuales.

La Agencia Córdoba Ambiente elaboró un modelo de vertedero controlado aplicable para pequeñas localidades que permitirá gestionar adecuadamente sus residuos. Mediante la utilización de esta herramienta los municipios podrán construir sus vertederos, y estándares de calidad ambiental, compatibles con la seguridad y salud pública de la localidad.

Estos vertederos requerirán un mínimo de maquinaria, donde su operación será fundamentalmente manual. Junto a este modelo se incorporará un plan de manejo de la recolección, del procesamiento de los residuos (reciclado, compostaje, etc.) así como un plan de difusión y capacitación del programa.

En el caso de otras localidades, de mediana a gran envergadura, que no estén comprendidas en alguna de las regiones, la Agencia Córdoba Ambiente elaboró un manual de diseño de instalaciones, que presenta la secuencia lógica del proceso de diseño de un vertedero, para incorporar en el transcurso del mismo, las consideraciones ambientales que minimicen los impactos generados y que permitan aprovechar al máximo la ocupación del predio destinado.

5.4.3 - OPERACIÓN DEL VERTEDERO

En una instalación o planta de disposición final de residuos se deben desarrollar los siguientes pasos metodológicos:

1. Preparación del predio con obras de cercado perimetral, instalación de báscula, casilla de control de ingresos, control del drenaje, etc.
2. Preparación de la base y taludes de las celdas de disposición final, pueden ser bajo o sobre el nivel topográfico, mediante la colocación o construcción de barreras de muy baja permeabilidad (naturales o sintéticas), y los elementos de drenaje y protección que correspondan según proyecto.
3. Aceptación o rechazo de los residuos en el control de ingresos, registro.
4. Disposición de los residuos sobre la superficie de trabajo, en capas del menor espesor posible técnica y económicamente.
5. Compactación de dicha capa para reducir su volumen.

6. Cobertura diaria de la capa de residuos, históricamente se ha hecho con capas de suelo, pero nada impide que se utilicen otros materiales que cumplan con las funciones de separar los residuos de los agentes atmosféricos.
7. Extracción y tratamiento complementario de los líquidos lixiviados previamente a su reintroducción en el ciclo natural. Una alternativa viable es la recirculación de los lixiviados en el depósito de residuos. Registro de lixiviados recuperados y tratados.
8. Extracción y tratamiento complementario de los gases de vertedero.
9. Tratamiento de la superficie final del vertedero para su habilitación para otros usos.
10. Controles post-clausura.

De manera racional, como lo expresa el punto 7 del listado de pasos metodológicos en un vertedero controlado, debe existir una gestión adecuada de los lixiviados que se producen *in situ*; esto no sucede en la actualidad en ninguno de los vertederos actualmente en funcionamiento en la Provincia de Córdoba. Esta condición necesaria (de gestión adecuada de lixiviados) afecta directamente la producción de biogás (entre otros). De esta forma, la gestión de lixiviados (0% al 100%), será entonces tomada como alternativa de gestión para el cálculo de producción de biogás.

Fuente: Programa Córdoba Limpia, 2001.

5.4.4 - DETERMINACIÓN DE LOS VERTEDEROS SUJETOS DE ESTUDIO EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Según las directivas propuestas en el Programa Córdoba Limpia, el estudio de estimaciones de producción de biogás se realizará tanto sobre el listado de vertederos existentes, como así también de los que se propone construir (Tabla 5. 2)

Tabla 5. 2 - Vertederos de Córdoba sujetos de estudio

Región Limpia		Vertedero	
N°	Nombre	Ubicación	Estado
1	Región Punilla – Norte	Localidad de Cruz del Eje	A construir
2	Región Traslasierras	Localidad de Villa Dolores	A construir
3	Región Arroyito	Localidad de Arroyito	A construir
4	Región Villa del Rosario	Localidad de Villa del Rosario	En funcionamiento
5	Región San Francisco	Localidad de San Francisco	En funcionamiento
6	Región Metropolitana	Localidad de Córdoba	En funcionamiento
7	Región Villa Nueva	Localidad de Villa Nueva	A construir
8	Región Ctalamuchita	Localidad de Los Cóndores	A construir
9	Región Río Cuarto	Localidad de Río Cuarto	En funcionamiento
10	Región Monte Maíz	Localidad de Monte Maíz	A construir
11	Región Laboulaye	Localidad de Laboulaye	A construir
12	Región Huinca Renancó	Localidad de Huinca Renancó	A construir

Fuente: Agencia Córdoba Ambiente, 2001, Programa “Córdoba Limpia”.

Con el objetivo de obtener estimaciones de los valores de producción de metano de aquí a 30 años (hasta el año 2045 inclusive), se considerarán sólo los residuos que ingresan a los vertederos a partir del año (2016).

Las demás características necesarias para operar LandGEM, se detallan en la siguiente Tabla 5. 3.

Tabla 5. 3 - Características de los Vertederos

Región Limpia	Vertedero	Año de apertura	Año de clausura	Capacidad	Caract. geométricas	Operación de los vertederos
Región Punilla - Norte	Cruz del Eje	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Traslasierras	Villa Dolores	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Arroyito	Arroyito	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Villa del Rosario	Villa del Rosario	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región San Francisco	San Francisco	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Metropolitana	Córdoba	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Villa Nueva	Villa Nueva	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Ctalamuchita	Los Cóndores	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Río Cuarto	Río Cuarto	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Monte Maíz	Monte Maíz	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Laboulaye	Laboulaye	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Región Huinca Renancó	Huinca Renancó	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
Sin región asignada	No asignado	2015	ND1	ND2	ND3	ND4
" ND - NO DEFINIDO "	ACLARACIÓN					

- ND¹ El modelo de estimación calcula el año de clausura del vertedero
- ND² Con fines prácticos se define una "capacidad ilimitada de deposición de residuos"
- ND³ Dependen de las características hidrogeológicas y geotécnicas del terreno
- ND⁴ Se considera nula la re-infiltración de Lixiviados en los vertederos

5.4.5 - CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS - TASA DE CRECIMIENTO GEOMÉTRICO

Para la determinación de la cantidad de residuos a disponer en cada uno de los vertederos de las regiones limpias se debe realizar un análisis del área de influencia de cada una de estas instalaciones, referidas a la cantidad de habitantes que dispondrán los residuos en el sitio y a la tasa de generación de residuos en el área.

Para cada una de las regiones se recopila la información relativa a la población de los censos realizados en los años 2001, 2008 y 2010. A partir de los resultados de los censos para cada uno de las regiones se determina la tasa intercensal de crecimiento poblacional. Del análisis de la tendencia de la misma se estima una tasa de crecimiento para los próximos 30 años. La proyección de crecimiento de la población se realiza utilizando una progresión geométrica, También conocido como interés compuesto.

La fórmula para la tasa de crecimiento poblacional bajo el supuesto geométrico se expone a continuación:

$$r = \left(\frac{P^{t+n}}{P^t} \right)^{1/n} - 1$$

Dónde:

-) **r** Tasa de crecimiento anual geométrico.
-) **P^{t+n}** Población al momento actual.
-) **P^t** Población al momento inicial o población base o población inicial.
-) **a** La amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia.

Para la tasa de crecimiento es necesario dos poblaciones de referencia: una población de referencia se le considera como población base o punto de referencia (P_t). Con el fin de analizar cómo será el crecimiento demográfico para los próximos 30 años (2015 - 2045), será necesario definir la tasa de crecimiento geométrico anual media. Para ello se analizan los valores de poblaciones según los censos nacionales y provinciales del 1970, 1980, 1991, 2001, 2008, 2010. Todos ellos realizados por el INDEC.

5.7.5 - TASAS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Las tasas de generación consideradas responden a un análisis estadístico realizado por la Agencia Córdoba Ambiente, de donde se obtuvieron valores representativos según el rango de población de la localidad. Los valores se obtienen de la relación entre las cantidades recibidas por los vertederos propios de cada región vs la cantidad de habitantes promedio de cada una de ellas, considerando las fluctuaciones turísticas de aquellas localidades que revistan una variación poblacional importante en el año.

Fuente: “Diagnóstico provincial de los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos gobierno de la Provincia de Córdoba (Ing. Ms. Cs. Sergio Nirich)”

5.7.6 - COMPOSICIÓN DE RESIDUOS EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

En base a un estudio generado sobre los desperdicios ingresantes al predio de Piedras Blancas (dada su representatividad a nivel provincial), desde el año 2010 hasta comienzos del 2013, se determinan las proporciones de las distintas fracciones que componen los RSU de la Provincia de Córdoba.

Sobre la base de 32 muestras de RSU, se obtuvo un valor promedio para cada fracción de RSU y su desvío estándar. Estos valores serán utilizados para analizar los distintos posibles escenarios que deriven de las decisiones de carácter político-ambiental de la provincia para los próximos 30 años.

Los resultados de este estudio se observan en el siguiente capítulo 6, sección 6.2.3 “composición de RSU de Córdoba”.

Fuente: Informe Técnico “Análisis de sitios para el centro de tratamiento y disposición final para los residuos sólidos urbanos del área metropolitana de la ciudad de Córdoba”. Córdoba, Diciembre de 2012.

5.7.7 - ESTIMACIÓN DE LOS PARAMETROS TASA DE GENERACIÓN “ k ” Y POTENCIAL DE GENERACIÓN “ L_0 ”

Con los valores de cantidad de residuos a depositar, composición y precipitaciones anuales promedio en la provincia de Córdoba, se estimaran los parámetros del modelo con el uso promedios ponderados según los valores de las tablas provistas por los mismos desarrolladores del modelo (*EPA Method 2E - Determination of Landfill Gas Production Flow Rate*). Fuente: <http://www3.epa.gov/ttnemc01/promgate/m-02e>.

5.8 – PLAN DE RECUPERACIÓN DE RSU

En un esquema razonable de GIRSU, los valores de generación/disposición de RSU calculados, debieran estar afectados por la gestión de recupero de las fracciones no orgánicas, es decir, que las cantidades recolectadas en origen deberían ser superiores a las cantidades definitivas a ingresar a los distintos vertederos de la provincia., siendo las fracciones orgánicas, las más aptas para el vertido.

Sin embargo, es sabido que las gestiones de recupero y de reciclaje no se alcanzan con facilidad de inmediato, sino que deben ser diagramadas en el tiempo según el avance de la infraestructura destinada a tal fin.

En este sentido, se realiza una predicción optimista y conservadora en la cual se considera un aumento progresivo del recupero en un 5% del valor total de RSU a depositar cada cinco años, la cual aplica únicamente a los casos IV, V y VI, como se describe a continuación:

1. Se recupera el 5% del total de las fracciones inorgánicas en los próximos 5 años (2016-2020),
2. Se alcanza el 10% del total, en el periodo 2021 - 2025,
3. Se alcanza el 15% del total, en el periodo 2026 - 2030,
4. Se alcanza el 20% del total, en el periodo 2031 - 2035,
5. Se alcanza el 25% del total, en el periodo 2036 - 2040,
6. Se alcanza el 30% del total, en el periodo 2041 - 2045.

Las fracciones susceptibles de recuperación son: papel, plásticos, maderas, vidrio y otros inorgánicos.

Además de los distintos impactos ambientales positivos de una adecuada gestión de recuperación de fracciones inorgánicas, nos centraremos en el impacto directo que esta gestión tenga sobre la producción de biogas.

5.9 - DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE CAPTURA Y COLECCIÓN DE GASES.

Tanto para el diseño de las características técnicas de las redes de colección de gases, como sus respectivos costos de inversión, se consideraron las recomendaciones técnicas de tres fuentes distintas:

1. USACE EM 200-1-22 (2013). Publicación de la Agencia de Protección Ambiental (USA)
2. El manual "Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines" de la provincia de British Columbia en Canadá (2010)
3. El trabajo final del Ing. Joaquín González (Practica Supervisada) "Alternativas de captación y tratamiento del biogas en el vertedero de piedras blancas, Córdoba, Argentina" (Diciembre 2014 – UNC).

Como resultado del análisis de la información se describe a continuación las características relevantes de los sistemas de tratamiento de residuos, monitoreo de producción, captura, transformación de biogas y mantenimiento y operaciones de las instalaciones planteadas.

5.9.1 - SISTEMA DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DE BIOGÁS.

5.9.1.1 - MÉTODOS DE COLECCIÓN.

El gas se recoge generalmente usando pozos de extracción, mantas, o trincheras. A continuación se describen los principales aspectos técnicos de cada uno de los sistemas.

Pozos: estos sistemas consisten en una serie de pozos verticales de extracción de biogás (tubos de recogida perforados o ranurados) que penetran cerca de la parte inferior del vertedero o cerca de la profundidad de los residuos saturados. Los pozos verticales se recomiendan para los vertederos o porciones de los vertederos que exceden 12 m (40 pies) de profundidad.

El radio de la zona de captura en el pozo vertical de extracción puede variar de alrededor de 15m a 60m. Las tasas de recuperación de biogás a partir de un pozo de extracción pueden variar desde aproximadamente 0.30 m³/s a 1.5m³/s.

Manta: un sistema de recogida de manta continua construida de arena o grava en un mínimo de 0,3 m (12 pulgadas) de espesor debe estar situado por debajo de la capa de barrera impermeable superior. También se puede utilizar una manta de geosintéticos con propiedades de transmisibilidad equivalentes. Un sistema continuo de manta permitirá la libre circulación de biogás cualquiera sea el sistema de recogida o de salida de los tubos. Los tubos de salida verticales deben transportar el biogás recolectado debajo de la cubierta del relleno sanitario. El número de ventilación debe reducirse al mínimo y normalmente están separadas unos 60 m (200 pies) de distancia. Esto proporciona aproximadamente un respiradero cada 4 mil metros cuadrados.

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO.

Es importante tener en cuenta sistema global antes de diseñar y seleccionar los componentes individuales del sistema. Este enfoque propuesto se resume brevemente a continuación (USACE 2013).

Paso 1: Determinar el tamaño y la profundidad del relleno sanitario.

Paso 2: Determinar el tipo de residuos en el relleno sanitario y la tasa de generación de biogás.

Paso 3: Calcular el radio de influencia (ROI), establecer los pozos de extracción de biogás y los colectores.

Paso 4: Desarrollar una relación de nivel de vacío frente al flujo de biogás en el vertedero.

Paso 5: Calcular la pérdida por fricción de los componentes del sistema para un rango de velocidades de flujo.

Paso 6: Desarrollar una curva de "sistema" mediante la adición de las pérdidas por rozamiento calculados en los pasos 4 y 5.

Paso 7: Seleccionar un soplador con una curva de ventilador adecuado.

Paso 8: Proyectar la velocidad de flujo de biogás y el nivel de vacío.

Paso 9: Realizar un análisis de la presión de la red usando el supuesto diseño y equipamiento. Determinar si el diseño del sistema propuesto y el ventilador seleccionado proporcionan el vacío y el flujo adecuado a todas las porciones del relleno sanitario.

5.9.1.2 - TRATAMIENTO DEL GAS

Existen diferentes alternativas de tratamiento para corrientes gaseosas. En el caso particular del tratamiento de gas de vertederos de RSU la alternativa internacionalmente más utilizada es la quema del mismo con o sin recuperación de energía.

Los componentes típicos de planta de extracción de biogás incluyen los siguientes elementos:

-) Trampa de condensado y sistema de remoción de condensando
-) Tuberías y válvulas.
-) Sistema de medición de caudal y calidad de biogás.
-) Sopladores de extracción.
-) Elementos de combustión del biogás.

Para el aprovechamiento del gas recuperado para generar electricidad se requiere el pretratamiento del mismo previo al ingreso de los quemadores ya sea en una antorcha o en generadores de electricidad.

Los pretratamientos típicos incluyen:

-) Extracción de humedad y vapor de agua.
-) Remoción de partículas sólidas.
-) Remoción de sulfuro de hidrógeno.
-) Extracción de siloxanos.
-) Extracción de compuestos orgánicos halogenados.
-) Disminución del contenido de dióxido de carbono.

La humedad presente en el biogás puede disminuir drásticamente la eficiencia del sistema de quema y puede formar mezclas muy corrosivas en combinación con contaminantes presente el gas. Las partículas presentes en el gas pueden poseer propiedades abrasivas y afectar la vida útil de los equipos.

Los compuestos de azufre, especialmente el sulfuro de hidrógeno tienen propiedades muy corrosivas. El sulfuro de hidrógeno puede ser absorbido por el agua presente en el aceite de los motores y puede producir ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico puede afectar la corrosión de los componentes de los generadores. Adicionalmente la acidificación del aceite del motor por medio del ácido sulfúrico produce un incremento en los costos de mantenimiento ya que se requiere de cambios de aceite más frecuentes.

La principal preocupación que genera la presencia de siloxanos es la deposición de material silíceo en intercambiadores de calor, motores y partes de turbinas de combustión. Durante la combustión del gas, los siloxanos se convierten en sílice cristalina y abrasiva. Estos se depositan en superficies móviles y generan abrasión por fricción, a su vez afectan la eficiencia en el intercambio de calor.

De manera previa al ingreso a los generadores, se requiere que el gas pase a través de un tren de calibración, en el cual se disponen de los elementos de medición y regulación necesarios. Mediante el tren de calibración es posible controlar la presión, medir el caudal del biogás, medir la concentración de CH_4 , calibrar la presión de servicio, controlar el apagado del o los generadores, cierre automático del paso del biogás, corta llamas, etc. Existen diferentes proveedores que suministran soluciones completas para la línea o tren de calibración para el aprovechamiento del biogás para la generación de electricidad.

Los generadores que se utilizan para la producción de electricidad son el componente central y fundamental de las instalaciones de tratamiento de gases con recuperación de energía. Los mismos se componen de motores especiales, robustos y contruidos expresamente para que funcionen con biogás. Son aparatos robustos debido a que los motores son reforzados para que soporten las vibraciones que ocasiona la combustión de biogás con altos contenidos de CO_2 .

El rango de potencia que se encuentra comercialmente para este tipo de equipamiento se encuentra entre los 10 kW y los 5 MW. Normalmente los generadores se encuentran equipados con motores de bajas revoluciones para aumentar su vida útil.

5.10 - DETERMINACIÓN DE LA LINEA BASE

Al estimarse ingresos por la transacción de bonos de carbono o certificados de reducciones, es necesario definir una metodología de cálculo de las cantidades de emisiones que se evitarán de ser liberadas a la atmósfera.

El presente proyecto utilizará la Metodología Consolidada de la Línea de Base ACM0001: “Metodología consolidada de la línea de base y monitoreo para las actividades del proyecto de gas de relleno sanitario” realizado por la Clean Development Mechanism (CDM), la cual se aplica utilizando los valores de las emisiones calculadas con el programa LandGEM para determinar la línea de base para actividades de proyecto.

Esta metodología se aplica en actividades de proyecto de captación de gas de relleno sanitario, donde el escenario de la línea de base es la liberación parcial o total del gas hacia la atmósfera.



Figura 5. 3 - Esquema de Línea Base

La Metodología ACM0001 establece que las emisiones de la línea de base de gases de efecto invernadero durante un año determinado “y” (EL_y) deben calcularse según la siguiente ecuación:

$$EL_y = (MD_{proyecto,y} - MD_{LB,y}) \times PCA_{CH4} + EL_{GRS,y} \times CEF_{elect, LB,y}$$

Dónde:

-) EL_y = Emisiones de la línea de base en el año “y” (tCO_{2e}).
-) $MD_{proyecto,y}$ = Volumen de metano que hubiera sido destruido/quemado durante el año “y” medido en toneladas de metano (tCH_4) en el escenario del proyecto. Será estimado con LandGEM en capítulo 7
-) $MD_{LB,y}$ = Volumen de metano que hubiera sido destruido/quemado durante el año ante la falta del proyecto debido a requisitos legales y/o contractuales, medido en toneladas de metano (tCH_4)
-) PCA_{CH4} = Potencial de Calentamiento Atmosférico del metano, para el primer período del acuerdo es 23 tCO_{2e}/tCH_4 .
-) $EL_{GRS,y}$ = Cantidad neta de electricidad generada utilizando GRS, que ante la falta de la actividad del proyecto, hubiera sido generada por plantas eléctricas conectadas a la red o por una generadora privada que utiliza combustibles fósiles, en el sitio o fuera de él, durante el año y, medida en mega watts-hora (MWh). Será estimado en Capítulo 8, de acuerdo a la infraestructura instalada en cada caso
-) $CEF_{elect, LB,y}$ = Intensidad de las emisiones de CO_2 de la fuente de electricidad desplazada de la línea de base (tCO_{2e}/MWh), estimada utilizando la “Herramienta para calcular el factor de emisión para sistemas eléctricos”.

La actividad el proyecto no comprende ninguna obligación contractual de quemar gases de relleno sanitario, y no existe una norma nacional que exija la destrucción de dichos gases. Por lo tanto, como el FA (factor de ajuste) es igual a cero, $MD_{LB,y} = MD_{proyecto,y} * FA = 0$; la ecuación resultante es:

$$EI_y = (MD_{proyecto,y}) \times PCA_{CH4} + EL_{GRS,y} \times CEF_{elect, LB,y}$$

En el capítulo 7 se muestran los valores obtenidos de las estimaciones a través de LandGEM y el posterior cálculo de la Línea de Base.

5.11 METODO DE ANALISIS ECONOMICO

Para cuantificar económicamente cada una de los casos planteados, se realizara en el CAPITULO 8 – “ANALISIS ECONOMICO”, un abordaje a los costos principales y los ingresos derivados de las operaciones.

A modo de resumen, el método para estimar los costos de inversión e ingresos se describe a continuación:

1. Estimación y variabilidad de producción de biogas para cada vertedero en cada uno de los 6 escenarios.
2. Estimación del valor de mercado de los bonos de carbono (CERs).
3. Estimación de valor de mercado de MW/hr. Provenientes de proyectos MDL.
4. Computo métrico de las instalaciones de cada vertedero.
5. Definición de una tasa de interés del capital involucrado
6. Estimación de ingresos por transacciones en el mercado internacional de Bonos de Carbono.
7. Estimación de Ingresos por MW/hr instalados/entregados.
8. Estimación de los costos de operación y mantenimiento, tratamiento de residuos, impuestos, otros.

Con los datos y estimaciones obtenidos se realizará un flujo de fondos para cada escenario de gestión planteado.

5.12 - SINTESIS Y CONCLUSIONES

Si bien, como se mencionó oportunamente en este capítulo, los valores de los parámetros del modelo serán obtenidos de manera teórica y no de forma empírica o experimental, debido principalmente al alcance de este estudio, esto no quita validez sobre los datos obtenidos, ya que, como bien lo describe la metodología propia del modelo, los parámetros obtenidos de esta forma serán conservadores en lo que respecta a valores de producción de biogas.

Habiendo especificado las características del modelo seleccionado para la estimación de producción de biogas, en conjunto con la sectorización realizada por la Agencia Córdoba Ambiente, se obtiene un método cuantitativo para analizar dichas emisiones y un método de análisis comparativo entre distintos escenarios de gestión que serán planteados en los próximos capítulos. Este método será también susceptible de ser calibrado en la medida que se obtengan valores de campo en el tiempo.

De la metodología aquí descrita, se desprende como factor de vital importancia el diseño de los vertederos. Este dato toma un gran valor debido a las mencionadas implicancias que su diseño, tecnología y capacidad, tienen respecto a la estimación como a la producción en sí misma de biogas.

De forma paralela, las estimaciones de crecimiento demográfico como las tasas de generación de residuos, se analizan a partir del año 2016, ya que cualquier tipo de obra de captación de biogas no podría operar en el lapso menor a 10 meses. Por lo que resulta de mayor practicidad contar con los datos de producción de biogas en tiempos donde este pueda ser aprovechado.

CAPÍTULO 6: RESIDUOS DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

6.1 - INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se exponen las características propias de la Provincia de Córdoba en lo referente a los datos necesarios para realizar las estimaciones de:

-) Crecimiento demográfico
-) Producción de residuos.
-) Parámetros de cálculo del Modelo de estimación de Metano (LandGEM)
-) Producción de Biogás.

También se plantea la información necesaria para analizar y comparar las distintos casos de gestión de residuos sólidos urbanos.

Se analiza el crecimiento demográfico de la provincia en base a los datos de los censos nacionales y provinciales desde el año 1970 hasta el último realizado en el 2010. Con estos valores se realizará una estimación de la tasa de crecimiento geométrico medio anual a nivel provincial con el fin de poder estimar el crecimiento de cada departamento para los próximos 30 años.

En este capítulo se estiman las cantidades anuales de residuos que se prevé recibirá cada vertedero, tanto aquellos en funcionamiento como aquellos que deban ser construidos, según recomendaciones del informe "Programa Córdoba Limpia".

6.2 - CARACTERÍSTICAS Y PROYECCIONES DEMOGRÁFICAS

Córdoba es una de las 23 provincias que componen la República Argentina. Situada en la Región Centro, limita al norte con la provincia de Catamarca y Santiago del Estero, al este con Santa Fe, al sureste con Buenos Aires, al sur con La Pampa, y al oeste con San Luis y La Rioja. Su capital es la ciudad homónima.

Con 165 321 km² de extensión, es la quinta provincia más extensa del país, ocupando el 5,94 % de su superficie total. Según el censo nacional 2010 su población es de 3.308.876 habitantes, con lo cual es la 3ª provincia más poblada de la República Argentina.

Aproximadamente el 40% de la población está aglomerada en la capital provincial, con 1.329.604 de habitantes, convirtiéndola en la segunda aglomeración urbana del país después del Gran Buenos Aires.

6.2.1 - TASA DE CRECIMIENTO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

Con el fin de analizar cómo será el crecimiento demográfico para los próximos 30 años, es necesario definir la tasa de crecimiento geométrico anual media. Para ello se analizan los valores de poblaciones según los censos nacionales y provinciales del 1970, 1980, 1991, 2001, 2008, 2010. Todos ellos realizados por el INDEC. Ver Figura 6. 1

Los valores de población y tasa de crecimiento geométrico se muestran en las Tabla 6. 1y Tabla 6. 2respectivamente.

CÓRDOBA	POBLACIÓN					
	1970	1980	1991	2001	2008	2010
	2.060.065	2.407.754	2.766.683	3.066.801	3.243.621	3.308.876

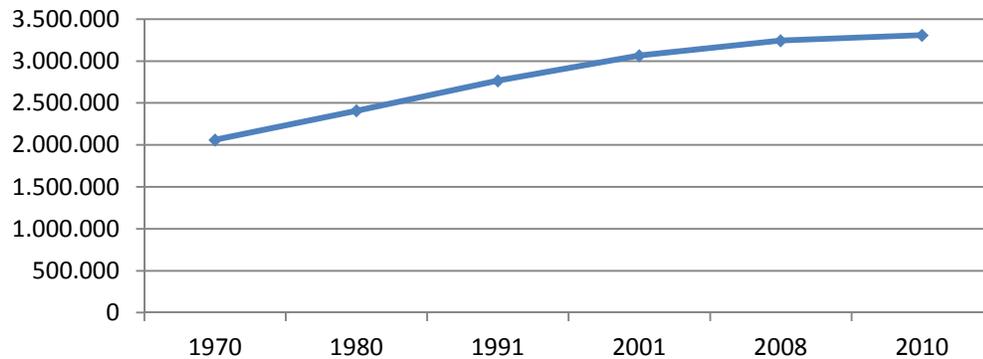


Figura 6.1 - Población Provincia de Córdoba 1970 - 2010

Fuente: INDEC

La fórmula para calcular la tasa de crecimiento poblacional bajo el supuesto geométrico se expone a continuación:

$$r = \left(\frac{P^{t+n}}{P^t} \right)^{1/a} - 1$$

Donde:

-) r Tasa de crecimiento anual geométrico.
-) P t+n Población al momento actual.
-) P t Población al momento inicial o población base o población inicial.
-) a La amplitud o distancia en tiempo entre las dos poblaciones de referencia.

CÓRDOBA	Tasa de crecimiento geométrico anual medio				
	1970/1980	1980/1991	1991/2001	2001/2008	2008/2010
	1,572%	1,271%	1,035%	0,804%	1,001%

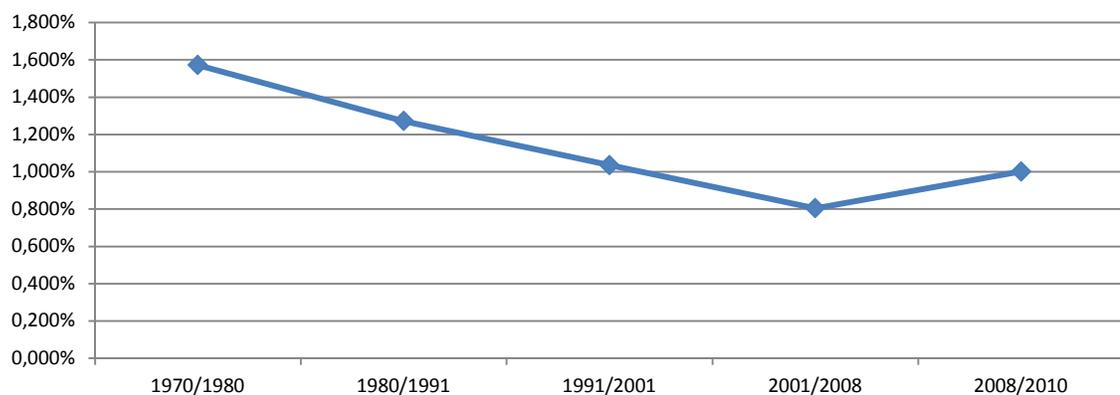


Figura 6.2 - Tasa de crecimiento geométrico medio anual

Para estimar la tasa de crecimiento es necesario dos poblaciones de referencia: una población de referencia se le considera como población base o punto de referencia (P_t).

A partir del cálculo de la tasa de crecimiento intercensal y las perspectivas de crecimiento para los próximos 30 años se estima una tasa de crecimiento poblacional constante de 0,8477% para la Provincia de Córdoba, como resultado de una proyección cuadrática de los valores anteriores.

De acuerdo a los datos poblacionales del último censo del año 2010 y la tasa de crecimiento adoptada se determina la población año a año para los próximos 30 años. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6. 1, discriminando dichos valores para cada departamento de la Provincia de Córdoba. Dicha distribución se considerará constante a fines prácticos para determinar los niveles de participación de cada "Región Limpia" en la generación y disposición de RSU. Para el cálculo se utiliza el valor de tasa de crecimiento "r" de cada región.

Tabla 6. 1 - Estimaciones de crecimiento demográfico (Prov. de Córdoba)

REGIÓN LIMPIA			POBLACIÓN ESTIMADA							
N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO	Tasa de crecimiento poblacional geométrico (r)	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2045
Promedio Provincial			0,85%	3.480.784	3.630.844	3.787.373	3.950.650	4.120.966	4.298.625	4.446.251
1	Región Punilla - Norte	Cruz del Eje	1,33%	61.812	64.477	67.256	70.156	73.180	76.335	78.956
		Ischilín	0,44%	32.939	34.359	35.840	37.385	38.997	40.678	42.075
		Minas	-0,36% (*)	4.973	5.187	5.411	5.644	5.887	6.141	6.352
		Punilla	1,57%	187.670	195.760	204.200	213.003	222.186	231.764	239.724
		Totoral	1,33%	19.520	20.362	21.239	22.155	23.110	24.106	24.934
		Tulumba	0,41%	13.331	13.906	14.506	15.131	15.783	16.464	17.029
		TOTAL		320.244	334.050	348.451	363.473	379.143	395.488	409.070
2	Región Traslasierras	San Alberto	1,49%	38.926	40.605	42.355	44.181	46.086	48.073	49.724
		San Javier	1,00%	56.301	58.728	61.260	63.900	66.655	69.529	71.917
3	Región Arroyito	Río Primero	1,07%	49.100	51.217	53.425	55.728	58.130	60.636	62.719
4	Región Villa del Rosario	Río Segundo	0,89%	109.107	113.810	118.717	123.835	129.173	134.742	139.369
5	Región San Francisco	San Justo	0,91%	217.025	226.382	236.141	246.321	256.940	268.017	277.222
6	Región Metropolitana	Capital	0,38%	1.398.682	1.458.980	1.521.878	1.587.488	1.655.926	1.727.314	1.786.635
7	Región Villa Nueva	Colón	3,10%	236.848	247.059	257.710	268.820	280.409	292.498	302.543
		General San Martín	1,04%	134.076	139.856	145.885	152.174	158.735	165.578	171.264
		Santa María	1,47%	103.289	107.742	112.387	117.232	122.286	127.558	131.939
		Tercero Arriba	0,21%	115.246	120.214	125.397	130.803	136.442	142.324	147.211
		TOTAL		589.459	614.871	641.379	669.029	697.872	727.958	752.958
8	Región Calamuchita	Calamuchita	2,09%	57.573	60.055	62.645	65.345	68.162	71.101	73.543
9	Región Río Cuarto	Juárez Celman	1,10%	64.251	67.021	69.910	72.924	76.068	79.348	82.073
		Río Cuarto	0,78%	259.194	270.368	282.024	294.182	306.865	320.094	331.087
		TOTAL		323.445	337.389	351.934	367.107	382.933	399.442	413.159
10	Región Monte Maíz	Marcos Juárez	0,49%	109.619	114.345	119.274	124.416	129.780	135.375	140.024
		Unión	0,59%	111.220	116.015	121.016	126.233	131.675	137.352	142.069
		TOTAL		220.839	230.359	240.290	250.649	261.455	272.727	282.093
11	Región Laboulaye	Pte. Roque Sáenz Peña	0,51%	38.167	39.812	41.529	43.319	45.187	47.135	48.753
12	Región Huinca Renancó	General Roca	0,75%	37.497	39.113	40.800	42.559	44.393	46.307	47.897
	SIN REGION	Pocho	0,53%	5.660	5.903	6.158	6.423	6.700	6.989	7.229
		Río Seco	0,52%	13.930	14.531	15.157	15.810	16.492	17.203	17.794
		Sobremonte	0,15%	4.830	5.038	5.255	5.481	5.718	5.964	6.169
		TOTAL		24.419	25.472	26.570	27.715	28.910	30.156	31.192

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 y 2010 – INDEC

(*) Valores negativos de la tasa de crecimiento intercensal, indican que el crecimiento poblacional decrece paulatinamente en el tiempo.

De la Tabla 1 de estimaciones de crecimiento puede observarse que la gran mayoría de los habitantes de la provincia se encuentran radicados en la región Metropolitana, Río IV, San Justo y el departamento de Colón.

Teniendo estos cuatro últimos departamentos el 60% del total provincial. Los resultados pueden observarse en la Figura 6. 3.

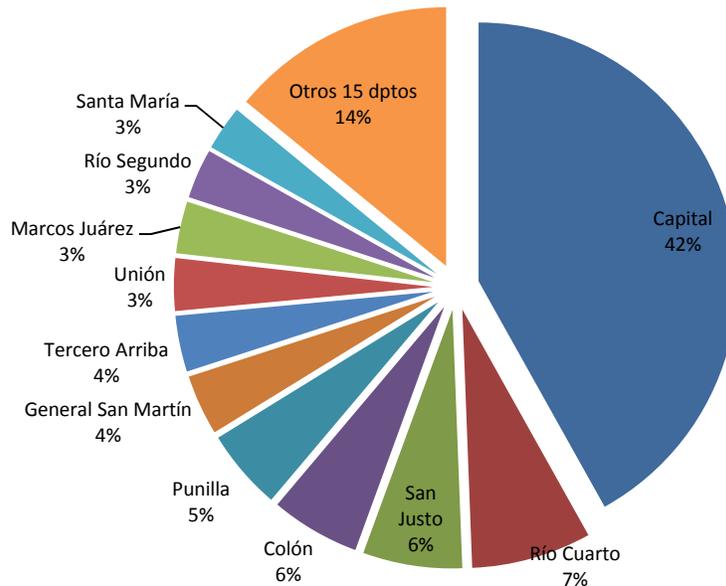


Figura 6. 3 - Distribución demográfica en la Provincia de Córdoba (2010)

6.2.2 - GENERACIÓN DE RSU

Para analizar cómo se generan los residuos en las distintas reparticiones de la provincia, es necesario conocer la Tasa de Generación de residuos (kg/hab/día) de cada una de ellas. Los datos disponibles sobre generación de residuos son tomados de los estudios:

-) “Diagnóstico Provincial de los Sistemas De Gestión De Residuos Sólidos Urbanos”, formulado por el Gobierno de la Provincia De Córdoba, Agencia Córdoba Ambiente, Julio del año 2000,
-) “Análisis de sitios para el centro de tratamiento y disposición final para los residuos sólidos urbanos del área metropolitana de la ciudad de Córdoba” Realizado por el Instituto Superior de Estudios Ambientales de la UNC en Diciembre 2012.

Del primer informe mencionado se analizaron los registros a nivel provincial y del segundo informe, a nivel municipal de la ciudad de Córdoba, sobre el tonelaje de los residuos dispuestos en sus respectivas áreas de influencia desde el año 1988 hasta el 2012.

Para estimar la producción proyectada de residuos a nivel provincial, se han considerado los valores de recolección del sistema público (“Análisis de sitios para el centro de tratamiento y disposición final para los residuos sólidos urbanos del área metropolitana de la ciudad de Córdoba) y las ya expuestas estimaciones geométricas de crecimiento demográfico (Tabla 6. 1), por lo tanto pueden existir diferencias entre las cifras consignadas y la generación real, siendo los siguientes valores tabulados, conservadores en cantidades.

A partir del análisis de esos registros se determinaron la tasa de generación de residuos per cápita provincial:

-) **Tasa generación RSU promedio 0,754 kg/hab/día.**

En la siguiente Tabla 6. 2 se plasman los resultados de las estimaciones de la tasa de crecimiento asociada a la generación per cápita de residuos. El resultado es una proyección de las cantidades de residuos a disponer. (en el ANEXO II puede observarse la Tabla 2 completa)

Tabla 6. 2 - Estimación de generación de Residuos 2016 - 2045 (Prov. Córdoba)

REGIÓN LIMPIA			RSU (ton/año)							
N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO	Tasa de generación de residuos (kg/Hab/día)	2016	2021	2026	2031	2036	2041	2045
Promedio Provincial			0,754	957.653	998.939	1.042.004	1.086.926	1.133.784	1.182.663	1.223.278
1	Región Punilla - Norte	Cruz del Eje	0,629	14.191,05	14.802,84	15.441,00	16.106,68	16.801,05	17.525,36	18.127,23
		Ischilín	0,551	6.624,48	6.910,07	7.207,97	7.518,71	7.842,85	8.180,96	8.461,92
		Minas	0,551	1.000,06	1.043,17	1.088,15	1.135,06	1.183,99	1.235,03	1.277,45
		Punilla	1,094	74.938,34	78.169,00	81.538,94	85.054,16	88.720,92	92.545,77	95.724,03
		Totoral	0,551	3.925,78	4.095,02	4.271,56	4.455,71	4.647,80	4.848,17	5.014,67
		Tulumba	0,551	2.681,15	2.796,73	2.917,30	3.043,07	3.174,26	3.311,11	3.424,82
TOTAL				103.360,85	107.816,84	112.464,92	117.313,39	122.370,88	127.646,40	132.030,11
2	Región Traslasierras	San Alberto	0,523	7.430,87	7.751,22	8.085,39	8.433,96	8.797,55	9.176,82	9.491,98
		San Javier	0,523	10.747,50	11.210,83	11.694,14	12.198,28	12.724,16	13.272,71	13.728,53
TOTAL				18.178,37	18.962,05	19.779,53	20.632,24	21.521,72	22.449,54	23.220,51
3	Región Arroyito	Río Primero	0,498	8.924,90	9.309,66	9.711,00	10.129,65	10.566,35	11.021,88	11.400,40
4	Región Villa del Rosario	Río Segundo	0,418	16.646,38	17.364,02	18.112,60	18.893,45	19.707,97	20.557,60	21.263,60
5	Región San Francisco	San Justo	0,684	54.182,56	56.518,42	58.954,98	61.496,59	64.147,76	66.913,23	69.211,21
6	Región Metropolitana	Capital	1,299	663.163,97	691.753,59	721.575,74	752.683,54	785.132,43	818.980,22	847.106,11
7	Región Villa Nueva	Colón	0,557	48.152,47	50.228,36	52.393,76	54.652,50	57.008,62	59.466,31	61.508,54
		General San Martín	0,557	27.258,26	28.433,39	29.659,18	30.937,81	32.271,57	33.662,83	34.818,90
		Santa María	0,557	20.999,22	21.904,51	22.848,84	23.833,87	24.861,37	25.933,17	26.823,78
		Tercero Arriba	0,557	23.430,03	24.440,12	25.493,76	26.592,82	27.739,26	28.935,13	29.928,83
TOTAL				119.839,97	125.006,39	130.395,53	136.017,00	141.880,82	147.997,44	153.080,05
8	Región Calamuchita	Calamuchita	0,723	15.193,34	15.848,34	16.531,57	17.244,27	17.987,68	18.763,15	19.407,52
9	Región Río Cuarto	Juárez Celman	1,038	24.342,86	25.392,30	26.486,99	27.628,87	28.819,98	30.062,43	31.094,85
		Río Cuarto	1,038	98.200,84	102.434,36	106.850,41	111.456,83	116.261,83	121.273,99	125.438,85
TOTAL				122.543,70	127.826,67	133.337,40	139.085,70	145.081,81	151.336,42	156.533,70
10	Región Monte Maíz	Marcos Juárez	1,070	42.811,63	44.657,28	46.582,50	48.590,72	50.685,51	52.870,61	54.686,32
		Unión	0,474	19.242,16	20.071,70	20.937,01	21.839,63	22.781,15	23.763,27	24.579,36
TOTAL				62.053,79	64.728,99	67.519,51	70.430,34	73.466,66	76.633,88	79.265,68
11	Región Laboulaye	Pte. Roque Sáenz Peña	0,679	9.459,11	9.866,91	10.292,28	10.735,99	11.198,82	11.681,62	12.082,79
12	Región Huinca Renancó	General Roca	1,119	15.315,04	15.975,29	16.664,00	17.382,40	18.131,77	18.913,45	19.562,98
SIN REGION	Pocho	1,119	2.311,54	2.411,19	2.515,14	2.623,57	2.736,68	2.854,66	2.952,70	
	Río Seco	1,119	5.689,49	5.934,77	6.190,62	6.457,50	6.735,89	7.026,28	7.267,58	
	Sobremonte	1,119	1.972,54	2.057,58	2.146,29	2.238,82	2.335,33	2.436,01	2.519,67	
TOTAL				9.973,57	10.403,54	10.852,05	11.319,89	11.807,90	12.316,95	12.739,95

Fuente: Elaboración propia en base al Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 y 2010 - INDEC

6.2.3 - COMPOSICIÓN DE LOS RSU

A partir de análisis de composición realizados sobre muestras de los residuos ingresantes al predio de Piedras Blancas se puede observar que, si bien las proporciones de cada uno de los componentes descritos han sufrido cambios a lo largo del periodo de estudio, no se observa una marcada tendencia de crecimiento o disminución de alguna de ellas (ver Figura 6. 4). Es por esto que para este trabajo se considera una composición promedio constante del análisis mencionado.

Cabe señalar que la composición de los residuos “a disponer” en los distintos vertederos no debería coincidir con la composición de los residuos retirados en origen (domiciliarios) en el caso de mediar una apropiada gestión de recupero de las distintas fracciones. Esto será tenido en cuenta al plantear los distintos escenarios de gestión, donde 3 de los 6 escenarios comprenden un sistema de tratamiento y recuperación previo a la disposición final.

La composición de residuos para la Provincia de Córdoba se considera entonces constante y se obtiene del promedio del estudio de composición antes mencionado (Figura 6. 5)

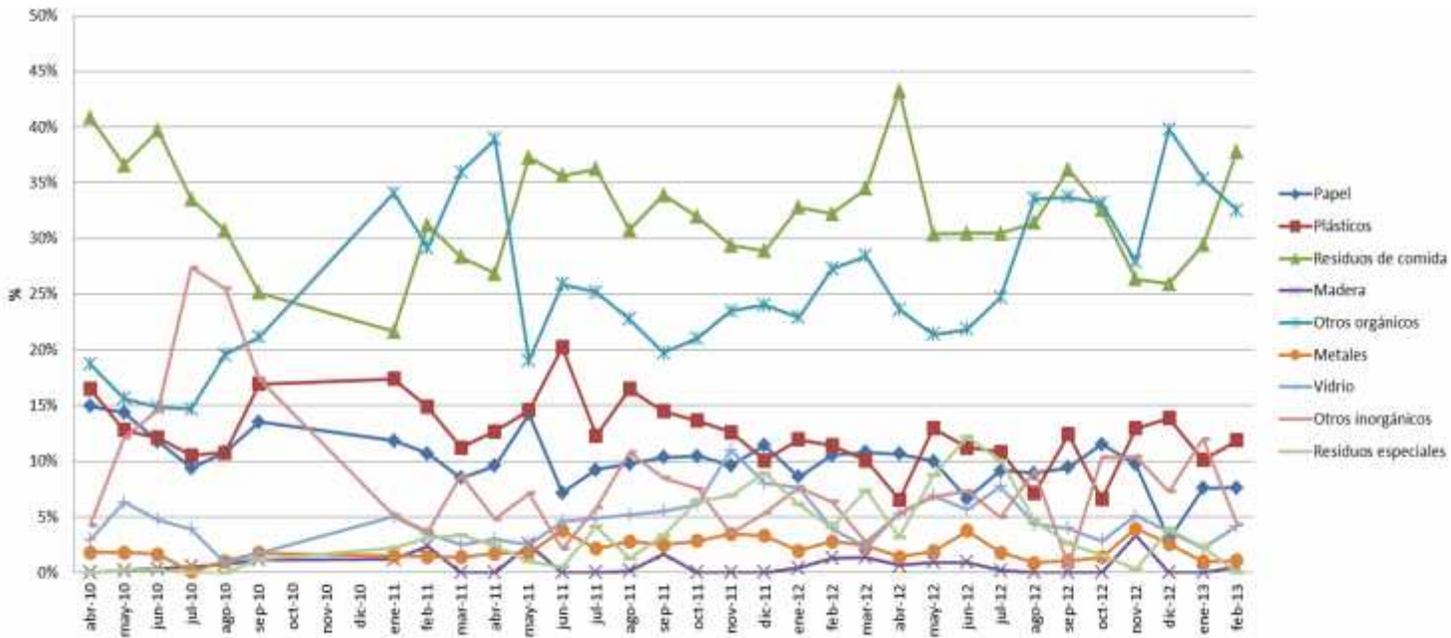


Figura 6. 4 - Evolución de la composición de RSU, Prov. de Córdoba

FRACCIÓN	PROMEDIO	DESVIÓ
Papel	10,06%	2,38%
Plásticos	12,51%	3,03%
Residuos de comida	32,26%	4,77%
Madera	0,64%	0,86%
Otros orgánicos	25,94%	6,98%
Metales	2,02%	0,94%
Vidrio	4,63%	2,12%
Otros inorgánicos	8,42%	5,95%
Residuos especiales	3,52%	3,28%



Figura 6. 5 - Composición RSU, Prov. Córdoba

6.3 - DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA PROVINCIAL

Como ya se ha mencionado, en el estudio de sistemas de tratamiento y disposición final de RSU del tipo Vertedero Controlado, es sumamente importante conocer el clima de la región donde el mismo está o será ubicado, fundamentalmente en lo referido al balance hídrico, dado que éste determinará no solo los parámetros buscados para estimar la producción de biogás, sino que también es determinante para el funcionamiento del mismo.

Por esta razón se detalla a continuación los valores históricos promedio de las precipitaciones en la Provincia de Córdoba.

6.3.1 - MEDIAS ANUALES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN EN CÓRDOBA

Para obtener los valores promedio históricos de la Provincia de Córdoba, se utilizan datos de temperatura y precipitación (tomados en valores anuales), obtenidos de las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el período 1941-2010 (ver Tabla 6. 3). Se consultaron los registros de 44 estaciones meteorológicas: 16 en Córdoba, 6 en San Luis, 8 en Santa Fe, 3 en La Rioja, 4 en La Pampa y 7 en Buenos Aires.

Superponiendo el mapeo de precipitaciones con la distribución de “Regiones Limpias” en la provincia de Córdoba, obtenemos la siguiente situación (Figura 6. 6).

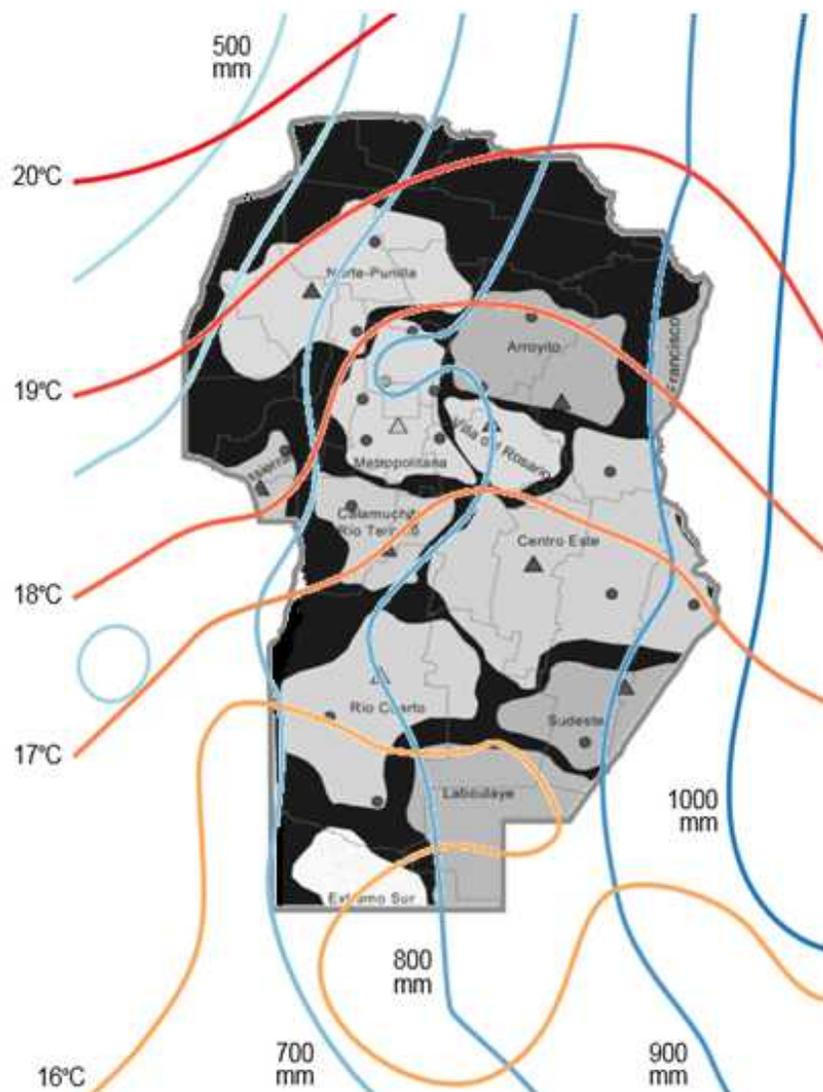


Figura 6. 6 - Temperaturas y Precipitaciones anuales promedio de la Prov. de Córdoba

Tabla 6. 3 - Precipitaciones por Región Limpia

REGIÓN LIMPIA			Precipitaciones anuales promedio (mm)
N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO	
1	Región Punilla - Norte	Cruz del Eje	750
		Ischilín	750
		Minas	750
		Punilla	750
		Totoral	750
		Tulumba	750
2	Región Traslasierras	San Alberto	700
		San Javier	700
3	Región Arroyito	Río Primero	900
4	Región Villa del Rosario	Río Segundo	850
5	Región San Francisco	San Justo	1.000
6	Región Metropolitana	Capital	800
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Colón	900
		General San Martín	900
		Santa María	900
		Tercero Arriba	900
8	Región Calamuchita	Calamuchita	800
9	Región Río Cuarto	Juárez Celman	850
		Río Cuarto	850
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Marcos Juárez	950
		Unión	950
11	Región Laboulaye	Presidente Roque Sáenz Peña	900
12	Región Huinca Renancó (Extremo Sur)	General Roca	900
	Sin Región Asignada	Pocho	600
		Río Seco	800
		Sobremonte	700

Con los datos obtenidos hasta el momento (Cantidades de RSU a depositar, composición de residuos y los niveles de precipitaciones promedio en cada región proyectadas a 30 años), es posible ingresar a las tablas de selección de los valores que el modelo ofrece para estimar los parámetros “ L_0 ” Y “ k ”.

6.4 - DETERMINACIÓN DE PARAMETROS DEL MODELO DE ESTIMACIÓN “ L_0 ” Y “ k ”.

Para poder estimar con precisión los valores de ambos parámetros del modelo, será necesario tener en cuenta que, L_0 depende de las proporciones de cada fracción a depositar, y estas últimas serán variables en el tiempo para los casos donde exista un plan de recuperación de fracciones inorgánicas. Será entonces necesario estimar un valor de dicho parámetro, para cada período en donde la recuperación afecte considerablemente la composición final de los residuos.

Por otro lado, para cada una de las 13 regiones limpias, según directrices del IPCC (2006), se tiene asignado valores de k para las cuatro categorías de degradación de residuos:

-) muy rápida (DR),
-) moderadamente rápida (DMR),
-) moderadamente lenta (DML),
-) muy lenta (DL).

Estos varían con base en la precipitación promedio anual en el clima de la región donde está ubicado el relleno sanitario, tipo de residuo y clima (SCS Engineers 2009).

Los valores correspondientes a la región climática donde se realizó el estudio son: DR $k=0.10$, DMR $k=0.05$, DML $k=0.20$, DL $k=0.10$. Para determinar estos valores, se realiza una modificación a los valores que proporciona dicho modelo con el porcentaje de los residuos que son catalogados dentro de cada categoría de residuos (ver Ecuación 1).

$$k_p = \sum_{i=1}^p (\%r_i \times v) \quad (1)$$

Donde $\%r_i$ es el porcentaje de residuos en cada categoría y v_p es valor de k predeterminado por el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 en cada una de las categorías de degradación.

En base a la metodología descrita en el Capítulo 5, sección 5.7.7, y considerando las variaciones de la composición de los RSU, se analizan distintos escenarios posibles, desde el caso “promedio” donde cada fracción de RSU se considera en su valor más probable, como así también aquellos donde se manifiesten los valores límites: “promedio + desvío” y “promedio - desvío”.

Con la utilización del método mencionado, se obtiene una tabla con los valores de los parámetros L_0 y k para cada uno de los seis escenarios planteados. Para los casos IV, V y VI, en los que se plantea un plan de recuperación dividido en seis periodos de ejecución progresivos, obtenemos un valor para cada parámetro, en cada periodo, para cada uno de los tres casos.

Tabla 6. 4 - Estimación de Parámetros L0 y K (CASOS I a III)

CASO I - VALORES PROMEDIO DE TODAS LAS FRACCIONES DE RSU							
FRACCIÓN	PROPORCIÓN INICIAL (GENERACIÓN)	% DE REDUCCIÓN RESULTANTE (EN PESO)	PROPORCIÓN RESULTANTE (A DEPOSITAR)	VALORES DE L_0 POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO	VALORES DE k POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO
PERÍODO ÚNICO 2016 - 2045							
Residuos de comida	32,260%	0,000%	32,260%	160	51,616	0,100	0,032
Otros orgánicos	25,940%	0,000%	25,940%	160	41,504	0,100	0,026
Madera	0,640%	0,000%	0,640%	120	0,768	0,010	0,000
Papel	10,060%	0,000%	10,060%	120	12,072	0,020	0,002
Plásticos	12,510%	0,000%	12,510%	20	2,502	0,000	0,000
Metales	2,020%	0,000%	2,020%	20	0,404	0,000	0,000
Vidrio	4,630%	0,000%	4,630%	20	0,926	0,000	0,000
Otros inorgánicos	8,420%	0,000%	8,420%	20	1,684	0,000	0,000
Residuos especiales	3,520%	0,000%	3,520%	120	4,224	0,000	0,000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L_0	115,700	k	0,0603

CASO II - FRACCIONES ORGANICAS EN SU VALOR MÁXIMO							
FRACCIÓN	PROPORCIÓN INICIAL (GENERACIÓN)	% DE REDUCCIÓN RESULTANTE (EN PESO)	PROPORCIÓN RESULTANTE (A DEPOSITAR)	VALORES DE L_0 POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO	VALORES DE k POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO
PERÍODO ÚNICO 2016 - 2045							
Residuos de comida	37,030%	0,000%	37,030%	160	59,247	0,100	0,037
Otros orgánicos	32,914%	0,000%	32,914%	160	52,663	0,100	0,033
Madera	0,463%	0,000%	0,463%	120	0,555	0,010	0,000
Papel	7,231%	0,000%	7,231%	120	8,678	0,020	0,001
Plásticos	8,994%	0,000%	8,994%	20	1,799	0,000	0,000
Metales	1,454%	0,000%	1,454%	20	0,291	0,000	0,000
Vidrio	3,329%	0,000%	3,329%	20	0,666	0,000	0,000
Otros inorgánicos	6,058%	0,000%	6,058%	20	1,212	0,000	0,000
Residuos especiales	2,528%	0,000%	2,528%	120	3,033	0,000	0,000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L_0	128,143	k	0,0714

CASO III - FRACCIONES ORGANICAS EN SU MÍNIMO							
FRACCIÓN	PROPORCIÓN INICIAL (GENERACIÓN)	% DE REDUCCIÓN RESULTANTE (EN PESO)	PROPORCIÓN RESULTANTE (A DEPOSITAR)	VALORES DE L_0 POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO	VALORES DE k POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO
PERÍODO ÚNICO 2016 - 2045							
Residuos de comida	27,497%	0,000%	27,497%	160	43,995	0,100	0,027
Otros orgánicos	18,958%	0,000%	18,958%	160	30,333	0,100	0,019
Madera	0,000%	0,000%	0,000%	120	0,000	0,010	0,000
Papel	13,084%	0,000%	13,084%	120	15,701	0,020	0,003
Plásticos	16,273%	0,000%	16,273%	20	3,255	0,000	0,000
Metales	2,631%	0,000%	2,631%	20	0,526	0,000	0,000
Vidrio	6,024%	0,000%	6,024%	20	1,205	0,000	0,000
Otros inorgánicos	10,961%	0,000%	10,961%	20	2,192	0,000	0,000
Residuos especiales	4,573%	0,000%	4,573%	120	5,488	0,000	0,000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L_0	102,694	k	0,0491

Tabla 6. 5 - Estimación de Parámetros L0 v K (CASO IV)

CASO IV - VALORES PROMEDIO DE TODAS LAS FRACCIONES DE RSU - CON RECUPERO							
FRACCIÓN	PROPORCIÓN INICIAL (GENERACIÓN)	% DE REDUCCIÓN RESULTANTE (EN PESO)	PROPORCIÓN RESULTANTE (A DEPOSITAR)	VALORES DE L ₀ POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO	VALORES DE K POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO
PERÍODO 1 2016 - 2020							
Residuos de comida	32,260%	-1,698%	33,958%	160	54,333	0,1000	0,0340
Otros orgánicos	25,940%	-1,365%	27,305%	160	43,688	0,1000	0,0273
Madera	0,640%	0,047%	0,593%	120	0,712	0,0100	0,0001
Papel	10,060%	0,737%	9,323%	120	11,187	0,0200	0,0019
Plásticos	12,510%	0,917%	11,593%	20	2,319	0,0000	0,0000
Metales	2,020%	0,148%	1,872%	20	0,374	0,0000	0,0000
Vidrio	4,630%	0,339%	4,291%	20	0,858	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	8,420%	0,617%	7,803%	20	1,561	0,0000	0,0000
Residuos especiales	3,520%	0,258%	3,262%	120	3,914	0,0000	0,0000
				L₀	118,946	k	0,0632
PERÍODO 2 2021 - 2025							
Residuos de comida	32,260%	-3,584%	35,844%	160	57,351	0,1000	0,0358
Otros orgánicos	25,940%	-2,882%	28,822%	160	46,116	0,1000	0,0288
Madera	0,640%	0,099%	0,541%	120	0,649	0,0100	0,0001
Papel	10,060%	1,556%	8,504%	120	10,204	0,0200	0,0017
Plásticos	12,510%	1,935%	10,575%	20	2,115	0,0000	0,0000
Metales	2,020%	0,313%	1,707%	20	0,341	0,0000	0,0000
Vidrio	4,630%	0,716%	3,914%	20	0,783	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	8,420%	1,303%	7,117%	20	1,423	0,0000	0,0000
Residuos especiales	3,520%	0,545%	2,975%	120	3,571	0,0000	0,0000
				L₀	122,553	k	0,0664
PERÍODO 3 2026 - 2030							
Residuos de comida	32,260%	-5,693%	37,953%	160	60,725	0,1000	0,0380
Otros orgánicos	25,940%	-4,578%	30,518%	160	48,828	0,1000	0,0305
Madera	0,640%	0,157%	0,483%	120	0,579	0,0100	0,0000
Papel	10,060%	2,472%	7,588%	120	9,106	0,0200	0,0015
Plásticos	12,510%	3,074%	9,436%	20	1,887	0,0000	0,0000
Metales	2,020%	0,496%	1,524%	20	0,305	0,0000	0,0000
Vidrio	4,630%	1,138%	3,492%	20	0,698	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	8,420%	2,069%	6,351%	20	1,270	0,0000	0,0000
Residuos especiales	3,520%	0,865%	2,655%	120	3,186	0,0000	0,0000
				L₀	126,585	k	0,0700
PERÍODO 4 2031 - 2035							
Residuos de comida	32,260%	-8,065%	40,325%	160	64,520	0,10000	0,04033
Otros orgánicos	25,940%	-6,485%	32,425%	160	51,880	0,10000	0,03243
Madera	0,640%	0,223%	0,417%	120	0,501	0,01000	0,00004
Papel	10,060%	3,502%	6,558%	120	7,870	0,02000	0,00131
Plásticos	12,510%	4,355%	8,155%	20	1,631	0,00000	0,00000
Metales	2,020%	0,703%	1,317%	20	0,263	0,00000	0,00000
Vidrio	4,630%	1,612%	3,018%	20	0,604	0,00000	0,00000
Otros inorgánicos	8,420%	2,931%	5,489%	20	1,098	0,00000	0,00000
Residuos especiales	3,520%	1,225%	2,295%	120	2,754	0,00000	0,00000
				L₀	131,120	k	0,0741
PERÍODO 5 2036 - 2040							
Residuos de comida	32,260%	-10,753%	43,013%	160	68,821	0,1000	0,0430
Otros orgánicos	25,940%	-8,647%	34,587%	160	55,339	0,1000	0,0346
Madera	0,640%	0,297%	0,343%	120	0,412	0,0100	0,0000
Papel	10,060%	4,669%	5,391%	120	6,469	0,0200	0,0011
Plásticos	12,510%	5,806%	6,704%	20	1,341	0,0000	0,0000
Metales	2,020%	0,938%	1,082%	20	0,216	0,0000	0,0000
Vidrio	4,630%	2,149%	2,481%	20	0,496	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	8,420%	3,908%	4,512%	20	0,902	0,0000	0,0000
Residuos especiales	3,520%	1,634%	1,886%	120	2,264	0,0000	0,0000
				L₀	136,260	k	0,0787
PERÍODO 6 2041 - 2045							
Residuos de comida	32,260%	-13,826%	46,086%	160	73,737	0,1000	0,0461
Otros orgánicos	25,940%	-11,117%	37,057%	160	59,291	0,1000	0,0371
Madera	0,640%	0,382%	0,258%	120	0,310	0,0100	0,0000
Papel	10,060%	6,003%	4,057%	120	4,868	0,0200	0,0008
Plásticos	12,510%	7,465%	5,045%	20	1,009	0,0000	0,0000
Metales	2,020%	1,205%	0,815%	20	0,163	0,0000	0,0000
Vidrio	4,630%	2,763%	1,867%	20	0,373	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	8,420%	5,024%	3,396%	20	0,679	0,0000	0,0000
Residuos especiales	3,520%	2,100%	1,420%	120	1,703	0,0000	0,0000
				L₀	142,135	k	0,0840
VALORES PROMEDIO				L₀	129,600	k	0,0727

Tabla 6. 6 - Estimación de Parámetros L0 y K (CASO V)

CASO V - FRACCIONES ORGANICAS EN SU MÁXIMO - CON RECUPERO							
FRACCIÓN	PROPORCIÓN INICIAL (GENERACIÓN)	% DE REDUCCIÓN RESULTANTE (EN PESO)	PROPORCIÓN RESULTANTE (A DEPOSITAR)	VALORES DE L ₀ POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO	VALORES DE k POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO
PERÍODO 1 2016 - 2020							
Residuos de comida	37,030%	-1,949%	38,979%	160	62,366	0,1000	0,0390
Otros orgánicos	32,914%	-1,732%	34,647%	160	55,435	0,1000	0,0346
Madera	0,463%	0,057%	0,406%	120	0,487	0,0100	0,0000
Papel	7,231%	0,886%	6,346%	120	7,615	0,0200	0,0013
Plásticos	8,994%	1,102%	7,892%	20	1,578	0,0000	0,0000
Metales	1,454%	0,178%	1,276%	20	0,255	0,0000	0,0000
Vidrio	3,329%	0,408%	2,921%	20	0,584	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	6,058%	0,742%	5,316%	20	1,063	0,0000	0,0000
Residuos especiales	2,528%	0,310%	2,218%	120	2,662	0,0000	0,0000
				L₀	132,045	k	0,0749
PERÍODO 2 2021 - 2025							
Residuos de comida	37,030%	-3,901%	41,144%	160	65,830	0,1000	0,0411
Otros orgánicos	32,914%	-3,467%	36,571%	160	58,514	0,1000	0,0366
Madera	0,463%	0,121%	0,343%	120	0,412	0,0100	0,0000
Papel	7,231%	1,886%	5,362%	120	6,434	0,0200	0,0011
Plásticos	8,994%	2,345%	6,668%	20	1,334	0,0000	0,0000
Metales	1,454%	0,379%	1,078%	20	0,216	0,0000	0,0000
Vidrio	3,329%	0,868%	2,468%	20	0,494	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	6,058%	1,580%	4,492%	20	0,898	0,0000	0,0000
Residuos especiales	2,528%	0,659%	1,874%	120	2,249	0,0000	0,0000
				L₀	136,380	k	0,0788
PERÍODO 3 2026 - 2030							
Residuos de comida	37,030%	-6,295%	43,564%	160	69,703	0,1000	0,0436
Otros orgánicos	32,914%	-5,595%	38,723%	160	61,956	0,1000	0,0387
Madera	0,463%	0,190%	0,273%	120	0,327	0,0100	0,0000
Papel	7,231%	2,974%	4,262%	120	5,114	0,0200	0,0009
Plásticos	8,994%	3,699%	5,300%	20	1,060	0,0000	0,0000
Metales	1,454%	0,598%	0,857%	20	0,171	0,0000	0,0000
Vidrio	3,329%	1,369%	1,962%	20	0,392	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	6,058%	2,491%	3,570%	20	0,714	0,0000	0,0000
Residuos especiales	2,528%	1,039%	1,490%	120	1,787	0,0000	0,0000
				L₀	141,226	k	0,0832
PERÍODO 4 2031 - 2035							
Residuos de comida	37,030%	-8,987%	46,287%	160	74,059	0,1000	0,0463
Otros orgánicos	32,914%	-7,988%	41,143%	160	65,829	0,1000	0,0411
Madera	0,463%	0,269%	0,194%	120	0,232	0,0100	0,0000
Papel	7,231%	4,197%	3,024%	120	3,629	0,0200	0,0006
Plásticos	8,994%	5,220%	3,761%	20	0,752	0,0000	0,0000
Metales	1,454%	0,844%	0,608%	20	0,122	0,0000	0,0000
Vidrio	3,329%	1,932%	1,392%	20	0,278	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	6,058%	3,516%	2,534%	20	0,507	0,0000	0,0000
Residuos especiales	2,528%	1,467%	1,057%	120	1,268	0,0000	0,0000
				L₀	146,677	k	0,0881
PERÍODO 5 2036 - 2040							
Residuos de comida	37,030%	-12,036%	49,373%	160	78,997	0,1000	0,0494
Otros orgánicos	32,914%	-10,698%	43,886%	160	70,217	0,1000	0,0439
Madera	0,463%	0,357%	0,104%	120	0,125	0,0100	0,0000
Papel	7,231%	5,583%	1,622%	120	1,946	0,0200	0,0003
Plásticos	8,994%	6,943%	2,017%	20	0,403	0,0000	0,0000
Metales	1,454%	1,122%	0,326%	20	0,065	0,0000	0,0000
Vidrio	3,329%	2,570%	0,747%	20	0,149	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	6,058%	4,677%	1,359%	20	0,272	0,0000	0,0000
Residuos especiales	2,528%	1,951%	0,567%	120	0,680	0,0000	0,0000
				L₀	152,855	k	0,0936
PERÍODO 6 2041 - 2045							
Residuos de comida	37,030%	-15,517%	52,899%	160	84,639	0,1000	0,0529
Otros orgánicos	32,914%	-13,792%	47,020%	160	75,233	0,1000	0,0470
Madera	0,463%	0,459%	0,001%	120	0,001	0,0100	0,0000
Papel	7,231%	7,165%	0,019%	120	0,023	0,0200	0,0000
Plásticos	8,994%	8,911%	0,024%	20	0,005	0,0000	0,0000
Metales	1,454%	1,440%	0,004%	20	0,001	0,0000	0,0000
Vidrio	3,329%	3,298%	0,009%	20	0,002	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	6,058%	6,002%	0,016%	20	0,003	0,0000	0,0000
Residuos especiales	2,528%	2,504%	0,007%	120	0,008	0,0000	0,0000
				L₀	159,915	k	0,0999
VALORES PROMEDIO				L₀	144,850	k	0,0864

Tabla 6. 7 - Estimación de Parámetros L0 y K (CASO VI)

CASO VI - FRACCIONES ORGANICAS EN SU MÍNIMO - CON RECUPERO							
FRACCIÓN	PROPORCIÓN INICIAL (GENERACIÓN)	% DE REDUCCIÓN RESULTANTE (EN PESO)	PROPORCIÓN RESULTANTE (A DEPOSITAR)	VALORES DE L ₀ POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO	VALORES DE k POR DEFECTO	VALOR PONDERADO PROMEDIO
PERÍODO 1 2016 - 2020							
Residuos de comida	27,497%	-1,447%	28,944%	160	46,310	0,1000	0,0289
Otros orgánicos	18,958%	-0,998%	19,956%	160	31,930	0,1000	0,0200
Madera	0,000%	0,000%	0,000%	120	0,000	0,0100	0,0000
Papel	13,084%	0,597%	12,487%	120	14,984	0,0200	0,0025
Plásticos	16,273%	0,743%	15,530%	20	3,106	0,0000	0,0000
Metales	2,631%	0,120%	2,510%	20	0,502	0,0000	0,0000
Vidrio	6,024%	0,275%	5,748%	20	1,150	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	10,961%	0,501%	10,461%	20	2,092	0,0000	0,0000
Residuos especiales	4,573%	0,209%	4,364%	120	5,237	0,0000	0,0000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L ₀	105,311	k	0,0514
PERÍODO 2 2021 - 2025							
Residuos de comida	27,497%	-3,055%	30,552%	160	48,883	0,1000	0,0306
Otros orgánicos	18,958%	-2,106%	21,065%	160	33,703	0,1000	0,0211
Madera	0,000%	0,000%	0,000%	120	0,000	0,0100	0,0000
Papel	13,084%	1,261%	11,823%	120	14,187	0,0200	0,0024
Plásticos	16,273%	1,569%	14,704%	20	2,941	0,0000	0,0000
Metales	2,631%	0,254%	2,377%	20	0,475	0,0000	0,0000
Vidrio	6,024%	0,581%	5,443%	20	1,089	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	10,961%	1,057%	9,904%	20	1,981	0,0000	0,0000
Residuos especiales	4,573%	0,441%	4,132%	120	4,959	0,0000	0,0000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L ₀	108,218	k	0,0540
PERÍODO 3 2026 - 2030							
Residuos de comida	27,497%	-4,852%	32,349%	160	51,758	0,1000	0,0323
Otros orgánicos	18,958%	-3,346%	22,304%	160	35,686	0,1000	0,0223
Madera	0,000%	0,000%	0,000%	120	0,000	0,0100	0,0000
Papel	13,084%	2,003%	11,081%	120	13,297	0,0200	0,0022
Plásticos	16,273%	2,491%	13,781%	20	2,756	0,0000	0,0000
Metales	2,631%	0,403%	2,228%	20	0,446	0,0000	0,0000
Vidrio	6,024%	0,922%	5,101%	20	1,020	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	10,961%	1,678%	9,283%	20	1,857	0,0000	0,0000
Residuos especiales	4,573%	0,700%	3,873%	120	4,648	0,0000	0,0000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L ₀	111,468	k	0,0569
PERÍODO 4 2031 - 2035							
Residuos de comida	27,497%	-6,874%	34,371%	160	54,993	0,1000	0,0344
Otros orgánicos	18,958%	-4,740%	23,698%	160	37,916	0,1000	0,0237
Madera	0,000%	0,000%	0,000%	120	0,000	0,0100	0,0000
Papel	13,084%	2,838%	10,246%	120	12,296	0,0200	0,0020
Plásticos	16,273%	3,529%	12,743%	20	2,549	0,0000	0,0000
Metales	2,631%	0,571%	2,060%	20	0,412	0,0000	0,0000
Vidrio	6,024%	1,306%	4,717%	20	0,943	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	10,961%	2,377%	8,584%	20	1,717	0,0000	0,0000
Residuos especiales	4,573%	0,992%	3,581%	120	4,298	0,0000	0,0000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L ₀	115,124	k	0,0601
PERÍODO 5 2036 - 2040							
Residuos de comida	27,497%	-9,166%	36,662%	160	58,659	0,1000	0,0367
Otros orgánicos	18,958%	-6,319%	25,278%	160	40,444	0,1000	0,0253
Madera	0,000%	0,000%	0,000%	120	0,000	0,0100	0,0000
Papel	13,084%	3,784%	9,300%	120	11,160	0,0200	0,0019
Plásticos	16,273%	4,706%	11,567%	20	2,313	0,0000	0,0000
Metales	2,631%	0,761%	1,870%	20	0,374	0,0000	0,0000
Vidrio	6,024%	1,742%	4,282%	20	0,856	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	10,961%	3,170%	7,791%	20	1,558	0,0000	0,0000
Residuos especiales	4,573%	1,323%	3,251%	120	3,901	0,0000	0,0000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L ₀	119,267	k	0,0638
PERÍODO 6 2041 - 2045							
Residuos de comida	27,497%	-11,784%	39,281%	160	62,849	0,1000	0,0393
Otros orgánicos	18,958%	-8,125%	27,083%	160	43,333	0,1000	0,0271
Madera	0,000%	0,000%	0,000%	120	0,000	0,0100	0,0000
Papel	13,084%	4,865%	8,219%	120	9,863	0,0200	0,0016
Plásticos	16,273%	6,050%	10,222%	20	2,044	0,0000	0,0000
Metales	2,631%	0,978%	1,652%	20	0,330	0,0000	0,0000
Vidrio	6,024%	2,240%	3,784%	20	0,757	0,0000	0,0000
Otros inorgánicos	10,961%	4,076%	6,885%	20	1,377	0,0000	0,0000
Residuos especiales	4,573%	1,700%	2,873%	120	3,447	0,0000	0,0000
				POTENCIAL DE GENERACIÓN [m ³ /ton]		TASA DE GENERACIÓN [año ⁻¹]	
				L ₀	124,002	k	0,0680
VALORES PROMEDIO				L ₀	113,898	k	0,0590

Cabe remarcar que una gestión integral de RSU, debe contemplar la recuperación de distintas fracciones, dicha gestión modifica las proporciones de cada fracción de residuos a disponer, consecuentemente se modificará el Potencial de Generación “ L_0 ”.

A continuación se describe cómo será planteada la gestión de Recupero de RSU aplicados para los casos IV, V y VI.

6.4.1 - PLAN DE RECUPERACIÓN

En la Tabla 6. 8, se observa cómo afecta la Gestión de Recupero de fracciones inorgánicas, para los próximos 15 años, según el Plan de Recuperación descrito en el CAP. 5°, en la composición final de residuos a depositar. En el ANEXO III se puede apreciar la tabla completa para los próximos 30 años de estudio.

De la misma tabla, se observa para el próximo año 2016, que el total de residuos estimados a disponer en la provincia asciende a 1.218.836 toneladas. Según el estudio de composición, 709.362 toneladas del total (58,20%), corresponden a fracciones orgánicas, las cuales se consideran NO recuperables por su aporte a la producción de biomasa y su alto grado de degradación.

El resto de las fracciones recuperables (509.473 toneladas - 41,80% del total), serán el objeto del Plan de Recupero. El cual como se planteó en el Capítulo 5, en los primeros 5 años (2016 - 2020) alcanzara un 5% en peso del total de fracciones recuperables. De esta forma, por medio de la recuperación, para el año 2016, en lugar de disponer las 1.218.836 toneladas, se recuperarán unas 60.942 toneladas. Para el año 2045, el recupero asciende al 30% del total en peso de las fracciones recuperables. De esta forma, del total de RSU estimado en 1.556.905 toneladas, se recuperarán unas 467.071 toneladas.

Además de los beneficios directos e indirectos del impacto de dicha gestión de recupero, para el caso de este estudio, se analiza el impacto que tiene sobre la composición todas de las fracciones de RSU.

En la siguiente Tabla 5, se observa cómo afecta la recuperación en los valores de cada fracción a disponer en los vertederos para los años 2016 y 2045 a modo de ejemplo. Por un lado, aquellas fracciones sujetas de recuperación decrecen en valor año a año, en contraposición de aquellas fracciones orgánicas que aumentan año tras año.

Una vez obtenidos los valores de toneladas netos de residuos a disponer en los vertederos, resulta notorio un cambio importante en la composición de los mismos, presentando un aumento de hasta un 30% de materia orgánica. En lo referente a esta sección las consecuencias directas de esto se manifiesta en:

1. Aumento de los valores de producción de Biogas (aumento de las fracciones degradables).
2. Reducción considerable del tiempo de llenado de los vertederos (reducción en peso y volumen de RSU).

En la siguiente Tabla 6. 8 se observan los resultados de dicho análisis.

Tabla 6. 8 - Comparación de fracciones SIN/CON Recuperación

FRACCION RSU	SIN RECUPERACIÓN	CON RECUPERACIÓN	
	COMPOSICIÓN ACTUAL	2017	2046
RESIDUOS DE COMIDA	32,26%	33,96%	46,09%
OTROS ORGÁNICOS	25,94%	27,31%	37,06%
MADERA	0,64%	0,59%	0,26%
PAPEL	10,06%	9,32%	4,06%
PLÁSTICOS	12,51%	11,59%	5,05%
METALES	2,02%	1,87%	0,81%
VIDRIO	4,63%	4,29%	1,87%
OTROS INORGÁNICOS	8,42%	7,80%	3,40%
RESIDUOS ESPECIALES	3,52%	3,26%	1,42%

El método de cálculo planteado en la tabla anterior se repite para los casos V y VI, alterando los valores de recuperación, debido a que en los casos IV, V y VI, los residuos ingresantes a las plantas de recupero tendrán fracciones distintas según se planteó en el Capítulo 5.

Tabla 6.9 - Gestión de Recupero CASO I

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030					
FRACCIÓN RSU		RSU (ton/año)					1.218.836	1.229.168	1.239.588	1.250.096	1.260.694	1.271.381	1.282.158	1.293.028	1.303.989	1.315.043	1.326.191	1.337.434	1.348.771	1.360.205	1.371.736
FRACCIONES ORGÁNICAS	RESIDUOS DE COMIDA	393.196	396.530	399.891	403.281	406.700	410.147	413.624	417.131	420.667	424.233	427.829	431.456	435.114	438.802	442.522					
	OTROS ORGÁNICOS	316.166	318.846	321.549	324.275	327.024	329.796	332.592	335.411	338.255	341.122	344.014	346.930	349.871	352.837	355.828					
	TOTAL	709.362	715.376	721.440	727.556	733.724	739.944	746.216	752.542	758.922	765.355	771.843	778.386	784.985	791.639	798.350					
FRACCIONES RECUPERABLES	MADERA	Cantidad a disponer (ton)	7.801	7.867	7.933	8.001	8.068	8.137	8.206	8.275	8.346	8.416	8.488	8.560	8.632	8.705	8.779				
		Recupero (ton)	933	941	949	957	965	1.947	1.963	1.980	1.997	2.013	3.046	3.072	3.098	3.124	3.150				
		Cantidad resultante (ton)	6.867	6.926	6.984	7.044	7.103	6.190	6.243	6.296	6.349	6.403	5.442	5.488	5.534	5.581	5.629				
	PAPEL	Cantidad a disponer (ton)	122.615	123.654	124.703	125.760	126.826	127.901	128.985	130.079	131.181	132.293	133.415	134.546	135.686	136.837	137.997				
		Recupero (ton)	14.667	14.791	14.917	15.043	15.171	30.598	30.858	31.119	31.383	31.649	47.876	48.282	48.691	49.104	49.520				
		Cantidad resultante (ton)	107.948	108.863	109.786	110.717	111.655	97.303	98.127	98.959	99.798	100.644	85.539	86.264	86.995	87.733	88.476				
	PLÁSTICOS	Cantidad a disponer (ton)	152.476	153.769	155.072	156.387	157.713	159.050	160.398	161.758	163.129	164.512	165.907	167.313	168.731	170.162	171.604				
		Recupero (ton)	18.239	18.393	18.549	18.707	18.865	38.050	38.373	38.698	39.026	39.357	59.536	60.041	60.550	61.063	61.580				
		Cantidad resultante (ton)	134.238	135.375	136.523	137.680	138.848	121.000	122.025	123.060	124.103	125.155	106.371	107.272	108.182	109.099	110.024				
	METALES	Cantidad a disponer (ton)	24.620	24.829	25.040	25.252	25.466	25.682	25.900	26.119	26.341	26.564	26.789	27.016	27.245	27.476	27.709				
		Recupero (ton)	2.945	2.970	2.995	3.021	3.046	6.144	6.196	6.249	6.302	6.355	9.613	9.695	9.777	9.860	9.943				
		Cantidad resultante (ton)	21.675	21.859	22.044	22.231	22.420	19.538	19.704	19.871	20.039	20.209	17.176	17.321	17.468	17.616	17.766				
	VIDRIO	Cantidad a disponer (ton)	56.432	56.910	57.393	57.879	58.370	58.865	59.364	59.867	60.375	60.886	61.403	61.923	62.448	62.977	63.511				
		Recupero (ton)	6.750	6.807	6.865	6.923	6.982	14.083	14.202	14.322	14.444	14.566	22.034	22.221	22.410	22.600	22.791				
		Cantidad resultante (ton)	49.682	50.103	50.528	50.956	51.388	44.782	45.162	45.545	45.931	46.320	39.368	39.702	40.039	40.378	40.720				
	OTROS INORGÁNICOS	Cantidad a disponer (ton)	102.626	103.496	104.373	105.258	106.150	107.050	107.958	108.873	109.796	110.727	111.665	112.612	113.567	114.529	115.500				
		Recupero (ton)	12.276	12.380	12.485	12.591	12.697	25.610	25.827	26.046	26.267	26.490	40.071	40.411	40.754	41.099	41.447				
		Cantidad resultante (ton)	90.350	91.116	91.888	92.667	93.453	81.440	82.131	82.827	83.529	84.237	71.594	72.201	72.813	73.430	74.053				
	RESIDUOS ESPECIALES	Cantidad a disponer (ton)	42.903	43.267	43.633	44.003	44.376	44.753	45.132	45.515	45.900	46.290	46.682	47.078	47.477	47.879	48.285				
		Recupero (ton)	5.132	5.175	5.219	5.264	5.308	10.706	10.797	10.889	10.981	11.074	16.752	16.894	17.037	17.182	17.327				
		Cantidad resultante (ton)	37.771	38.091	38.414	38.740	39.068	34.046	34.335	34.626	34.919	35.215	29.930	30.184	30.440	30.698	30.958				
	TOTAL SIN RECUPERO		509.473	513.792	518.148	522.540	526.970	531.437	535.942	540.486	545.067	549.688	554.348	559.047	563.786	568.566	573.386				
	TOTAL CON RECUPERO		448.531	452.334	456.168	460.035	463.935	404.299	407.726	411.183	414.668	418.184	355.419	358.432	361.471	364.535	367.625				

RECUPERO RESPECTO DEL TOTAL RSU	(%)	5%					10%					15%				
		(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	
		60.942	61.458	61.979	62.505	63.035	127.138	128.216	129.303	130.399	131.504	198.929	200.615	202.316	204.031	205.760

RECALCULO DE LAS FRACCIONES		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RESIDUOS DE COMIDA	32,26%	33,958%	33,958%	33,958%	33,958%	33,958%	35,844%	35,84%	35,84%	35,84%	35,84%	37,95%	37,95%	37,95%	37,95%	37,95%
OTROS ORGÁNICOS	25,94%	27,305%	27,305%	27,305%	27,305%	27,305%	28,82%	28,82%	28,82%	28,82%	28,82%	30,52%	30,52%	30,52%	30,52%	30,52%
MADERA	0,64%	0,593%	0,593%	0,593%	0,593%	0,593%	0,54%	0,54%	0,54%	0,54%	0,54%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%	0,48%
PAPEL	10,06%	9,323%	9,323%	9,323%	9,323%	9,323%	8,50%	8,50%	8,50%	8,50%	8,50%	7,59%	7,59%	7,59%	7,59%	7,59%
PLÁSTICOS	12,51%	11,593%	11,593%	11,593%	11,593%	11,593%	10,57%	10,57%	10,57%	10,57%	10,57%	9,44%	9,44%	9,44%	9,44%	9,44%
METALES	2,02%	1,872%	1,872%	1,872%	1,872%	1,872%	1,71%	1,71%	1,71%	1,71%	1,71%	1,52%	1,52%	1,52%	1,52%	1,52%
VIDRIO	4,63%	4,291%	4,291%	4,291%	4,291%	4,291%	3,91%	3,91%	3,91%	3,91%	3,91%	3,49%	3,49%	3,49%	3,49%	3,49%
OTROS INORGÁNICOS	8,42%	7,803%	7,803%	7,803%	7,803%	7,803%	7,12%	7,12%	7,12%	7,12%	7,12%	6,35%	6,35%	6,35%	6,35%	6,35%
RESIDUOS ESPECIALES	3,52%	3,262%	3,262%	3,262%	3,262%	3,262%	2,98%	2,98%	2,98%	2,98%	2,98%	2,66%	2,66%	2,66%	2,66%	2,66%

A continuación se resumen los principales datos obtenidos en las estimaciones realizadas en este capítulo.

Tabla 6. 10 - Resumen de datos Capitulo 6

TABLA DE RESUMEN - CAPITULO 6

Tasa de crecimiento anual geométrico	0,847%			REGIÓN	PRECIP. (mm/año)
Tasa generación RSU promedio	0,754 Kg/hab/día.				
COMPOSICIÓN RSU				Región Punilla - Norte	750
CON RECUPERACIÓN				Región Traslasierras	700
FRACCION RSU	ACTUAL	2017	2046	Región Arroyito	900
RESIDUOS DE COMIDA	32,26%	33,96%	46,09%	Región Villa del Rosario	850
OTROS ORGÁNICOS	25,94%	27,31%	37,06%	Región San Francisco	1000
MADERA	0,64%	0,59%	0,26%	Región Metropolitana	800
PAPEL	10,06%	9,32%	4,06%	Región Villa Nueva	900
PLÁSTICOS	12,51%	11,59%	5,05%	Región Calamuchita	800
METALES	2,02%	1,87%	0,81%	Región Río Cuarto	850
VIDRIO	4,63%	4,29%	1,87%	Región Monte Maíz	950
OTROS INORGÁNICOS	8,42%	7,80%	3,40%	Región Laboulaye	900
RESIDUOS ESPECIALES	3,52%	3,26%	1,42%	Región Huinca Renancó	900
				Sin Región Asignada	700

LandGEM - PARAMETROS		CASO					
		I	II	III	IV	V	VI
POTENCIAL DE GENERACION	L_0	115.7	128.43	102.69	129.60	144.85	113.89
TASA DE GENERACION	k	0.0603	0.0714	0.0491	0.0727	0.0864	0.0590

6.5 – SINTESIS Y COCLUSIONES

En general, las distintas regiones limpias presentan diferencias sustanciales en lo referente a cantidad de habitantes y su tasa de crecimiento. Esto se debe principalmente al desarrollo industrial y urbano que presentaron algunas de ellas en el transcurso del tiempo a diferencia de las demás.

Mientras que el Departamento de Colón evidencia, según información del INDEC, una tasa de crecimiento anual del 3,10% al mismo tiempo, el Departamento de Minas, ambos pertenecientes a la misma Región Limpia, muestra una tasa de crecimiento geométrico negativa del 0,36%.

Referente a las condiciones climáticas, si bien la Provincia de Córdoba posee una gran variedad de climas, los valores promedio de precipitaciones anuales sitúan a cada región en un mismo valor ponderado de “ k ” (tasa de generación de metano). Esto simplifica en una primera instancia la estimación de producción de biogás, aunque en una investigación más profunda, ha de ser necesaria una determinación más precisa del valor por medio del método que propone la EPA, llamado “*EPA Method 2E*”. Este método requiere ensayos tanto físicos como químico-biológicos que escapan los alcances de este estudio.

CAPITULO 7: ESTIMACIONES DE LA GENERACIÓN POTENCIAL DE BIOGÁS EN CÓRDOBA

7.1 - INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se muestran y analizan los resultados de las estimaciones de los seis escenarios planteados según la metodología descrita en el CAPITULO 5.

A modo de resumir y presentar la información provista por el modelo LandGEM, se exponen a continuación los resultados de cada escenario planteado, resumiendo los totales de producción de biomasa y carbono equivalente provincial. Posteriormente se muestran los valores obtenidos para el cálculo de Línea Base.

En este capítulo, también se hará una particular distinción en las cantidades de gases de efecto invernadero, distinguiendo los valores de Carbono equivalente (C_{equiv}), de las cantidades de combustible asociado con la producción de Metano (CH_4) presente en una proporción de 50% (en volumen) del Biogas total.

Se incorporan los conceptos de índice de producción marginal de Carbono Equivalente “**I**”, como así también el índice de producción marginal de Metano “**J**” para una mejor comprensión de las diferencias de los escenarios planteados.

El índice de producción marginal de Carbono Equivalente “**I**”, se calcula de acuerdo al cociente entre la cantidad en toneladas de Carbono Equivalente ($CO_2 + (23) \cdot CH_4$) y la cantidad de RSU dispuestos en un mismo año.

Análogamente, el índice de producción marginal de Metano “**J**” se obtiene del cociente de la cantidad en toneladas de Metano y la cantidad de RSU dispuestos en un mismo año.

7.3 - RESULTADOS DE ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN DE METANO (CH₄)

A continuación se muestran los resultados obtenidos a través de LandGEM para la Provincia de Córdoba. Los CASOS I, II y III, se observan en la Tabla 7. 1 y Los CASOS IV, V y VI se observan en la Tabla 7. 2.

Tabla 7. 1 - Producción de Metano (CH₄) - CASOS I, II y III

CASO	I		II		III		
	PROMEDIO		MAXIMO		MINIMO		
FRACCIÓN ORGANICA EN VALORES							
AÑO	RSU (tn)	SIN RECUPERO					
		tCH ₄	J (tCH ₄ /tRSU)	tCH ₄	J (tCH ₄ /tRSU)	tCH ₄	J (tCH ₄ /tRSU)
2016	1.218.836	0	0,00000	0	0,00000	0	0,00000
2017	1.229.168	5.550	0,00452	7.250	0,00590	4.009	0,00326
2018	1.239.588	10.823	0,00873	14.061	0,01134	7.859	0,00634
2019	1.250.096	15.835	0,01267	20.465	0,01637	11.560	0,00925
2020	1.260.694	20.601	0,01634	26.490	0,02101	15.118	0,01199
2021	1.271.381	25.137	0,01977	32.162	0,02530	18.540	0,01458
2022	1.282.158	29.456	0,02297	37.507	0,02925	21.834	0,01703
2023	1.293.028	33.572	0,02596	42.548	0,03291	25.005	0,01934
2024	1.303.989	37.496	0,02876	47.306	0,03628	28.060	0,02152
2025	1.315.043	41.241	0,03136	51.801	0,03939	31.005	0,02358
2026	1.326.191	44.817	0,03379	56.051	0,04226	33.846	0,02552
2027	1.337.434	48.235	0,03607	60.075	0,04492	36.587	0,02736
2028	1.348.771	51.504	0,03819	63.889	0,04737	39.233	0,02909
2029	1.360.205	54.633	0,04017	67.507	0,04963	41.790	0,03072
2030	1.371.736	57.631	0,04201	70.943	0,05172	44.263	0,03227
2031	1.383.364	60.507	0,04374	74.211	0,05365	46.655	0,03373
2032	1.395.092	63.267	0,04535	77.323	0,05543	48.970	0,03510
2033	1.406.918	65.916	0,04685	80.287	0,05707	51.214	0,03640
2034	1.418.845	68.462	0,04825	83.113	0,05858	53.388	0,03763
2035	1.430.873	70.911	0,04956	85.812	0,05997	55.498	0,03879
2036	1.443.003	73.268	0,05077	88.393	0,06126	57.547	0,03988
2037	1.455.235	75.540	0,05191	90.864	0,06244	59.537	0,04091
2038	1.467.572	77.732	0,05297	93.234	0,06353	61.472	0,04189
2039	1.480.013	79.849	0,05395	95.511	0,06453	63.355	0,04281
2040	1.492.559	81.896	0,05487	97.701	0,06546	65.189	0,04368
2041	1.505.212	83.877	0,05572	99.810	0,06631	66.976	0,04450
2042	1.517.972	85.798	0,05652	101.846	0,06709	68.719	0,04527
2043	1.530.840	87.661	0,05726	103.814	0,06781	70.421	0,04600
2044	1.543.817	89.471	0,05795	105.719	0,06848	72.083	0,04669
2045	1.556.905	91.231	0,05860	107.565	0,06909	73.709	0,04734
ACUMULADO	41.436.535	1.631.915	1,14558	1.983.261	1,39434	1.273.440	0,89245
PROMEDIO	1.381.218	54.397	0,03819	66.109	0,04648	42.448	0,02975
% RSU DISPUESTOS	100,00%						

Tabla 7. 2 - Producción de Metano (CH₄) - CASOS IV, V y VI

	CASO	IV		V		VI	
	FRACCIÓN ORGANICA EN VALORES	PROMEDIO		MAXIMO		MINIMO	
AÑO	RSU (tn)	CON RECUPERO					
		tCH₄	J (tCH₄/tRSU)	tCH₄	J (tCH₄/tRSU)	tCH₄	J (tCH₄/tRSU)
2016	1.157.894	0	0,00000	0	0,00000	0	0,00000
2017	1.167.710	7.049	0,00604	9.304	0,00797	5.058	0,00433
2018	1.177.608	13.664	0,01160	17.916	0,01521	9.869	0,00838
2019	1.187.591	19.875	0,01674	25.894	0,02180	14.448	0,01217
2020	1.197.659	25.710	0,02147	33.293	0,02780	18.808	0,01570
2021	1.144.243	31.198	0,02727	40.160	0,03510	22.962	0,02007
2022	1.153.943	35.976	0,03118	46.029	0,03989	26.644	0,02309
2023	1.163.725	40.477	0,03478	51.490	0,04425	30.158	0,02591
2024	1.173.590	44.722	0,03811	56.578	0,04821	33.513	0,02856
2025	1.183.539	48.729	0,04117	61.323	0,05181	36.719	0,03102
2026	1.127.262	52.516	0,04659	65.756	0,05833	39.784	0,03529
2027	1.136.819	55.695	0,04899	69.370	0,06102	42.428	0,03732
2028	1.146.456	58.708	0,05121	72.761	0,06347	44.962	0,03922
2029	1.156.174	61.569	0,05325	75.949	0,06569	47.393	0,04099
2030	1.165.976	64.288	0,05514	78.951	0,06771	49.727	0,04265
2031	1.106.692	66.877	0,06043	81.783	0,07390	51.971	0,04696
2032	1.116.073	68.922	0,06175	83.905	0,07518	53.826	0,04823
2033	1.125.534	70.882	0,06298	85.926	0,07634	55.616	0,04941
2034	1.135.076	72.761	0,06410	87.856	0,07740	57.345	0,05052
2035	1.144.698	74.567	0,06514	89.703	0,07836	59.017	0,05156
2036	1.082.252	76.304	0,07051	91.474	0,08452	60.634	0,05603
2037	1.091.426	77.540	0,07104	92.597	0,08484	61.887	0,05670
2038	1.100.679	78.745	0,07154	93.701	0,08513	63.107	0,05733
2039	1.110.009	79.921	0,07200	94.787	0,08539	64.298	0,05793
2040	1.119.419	81.072	0,07242	95.859	0,08563	65.462	0,05848
2041	1.053.648	82.199	0,07801	96.917	0,09198	66.599	0,06321
2042	1.062.580	82.847	0,07797	97.360	0,09163	67.385	0,06342
2043	1.071.588	83.504	0,07793	97.837	0,09130	68.164	0,06361
2044	1.080.672	84.169	0,07789	98.348	0,09101	68.938	0,06379
2045	1.089.833	84.843	0,07785	98.889	0,09074	69.707	0,06396
ACUMULADO	33.930.368	1.725.330	1,54508	2.091.713	1,87161	1.356.431	1,21584
PROMEDIO	1.131.012	57.511	0,05150	69.724	0,06239	45.214	0,04053
% RSU DISPUESTOS	81,89%						

Los valores de producción antes expuestos, se pueden observar en la siguiente Figura 7. 1
Tn CH₄

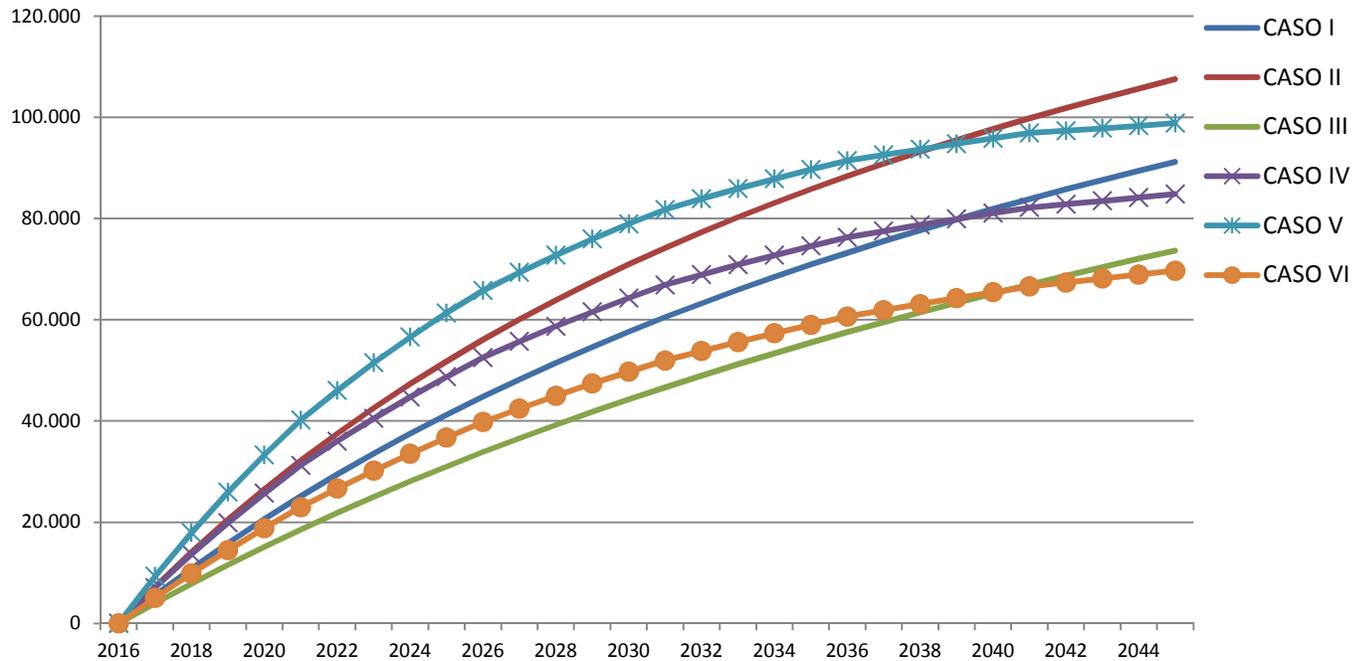


Figura 7. 1 - Producción de Metano (2016-2045)

A partir del gráfico anterior se puede observar como la curva correspondiente al **CASO II** alcanza niveles de producción de Metano más elevados, siendo el **CASO IV**, plan de recuperación mediante, una curva con crecimiento más pronunciado aunque alcanzando valores sensiblemente menores a partir del año 2038 aproximadamente.

Cabe destacar de las Tablas 1 y 2, que el **CASO V** posee un valor de producción acumulada mayor al **CASO II**, que alcanzan 2.091.713 Tn vs 1.983.261 Tn respectivamente.

La principal diferencia de estos escenarios radica en la gestión de recuperación de material inorgánico correspondiente al **CASO V**. Esta situación, como se manifestó en el Capítulo 6, modifica provechosamente las proporciones de RSU, más precisamente aquellas con materia orgánica degradable.

Por otro lado, este escenario con recuperación de fracciones inorgánicas, reduce la cantidad de residuos dispuestos en los vertederos, alargando notablemente su vida útil y reduciendo la manipulación de residuos/año.

En la siguiente Figura 7. 2 puede observarse con claridad como el **CASO V** aporta marginalmente mejores resultados que los demás casos de estudio.

7.3.1 - PRODUCCIÓN MARGINAL DE METANO "J"

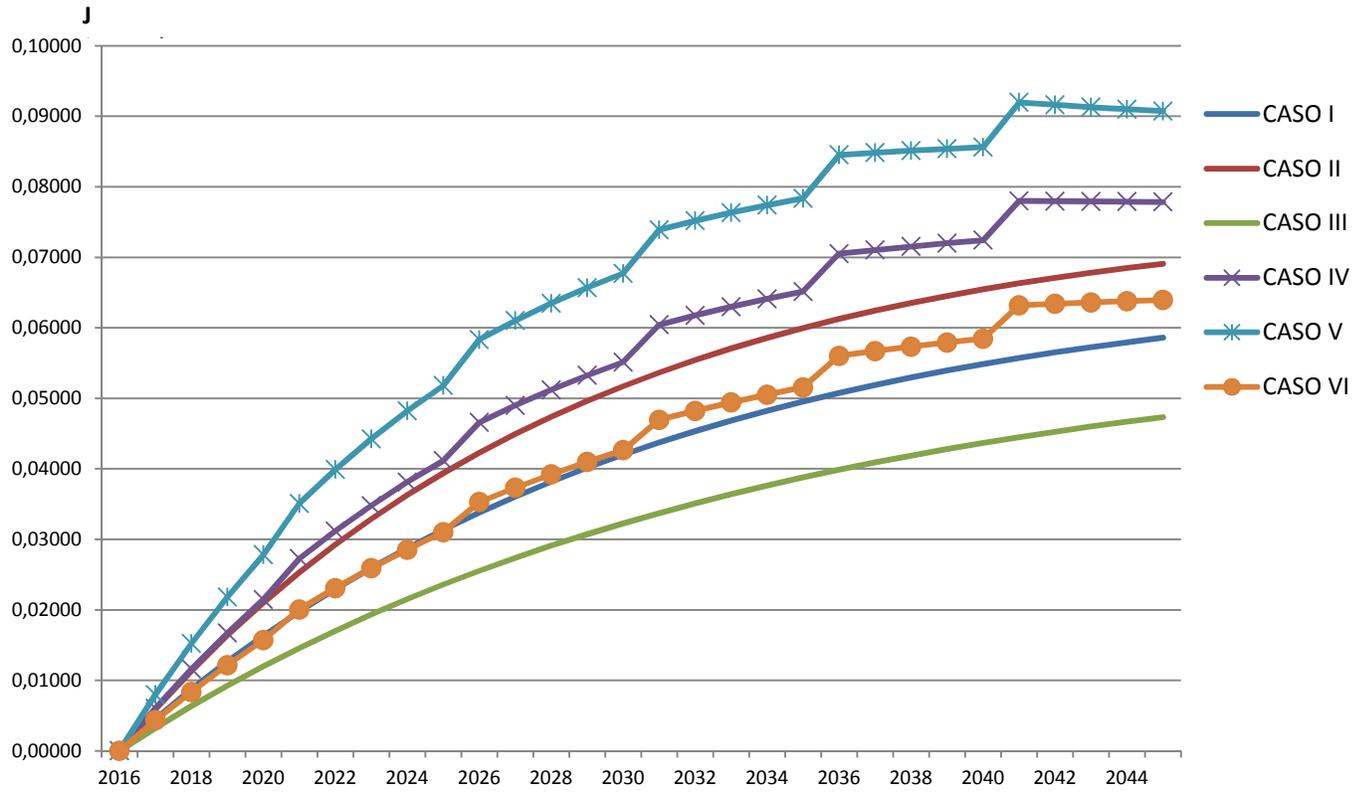


Figura 7. 2 - Producción Marginal de Metano "J"

El comportamiento escalonado de las curvas de los casos IV, V y VI, se debe a la gestión de recupero de las fracciones no-orgánicas.

Resulta evidente que el **CASO V**, alcanza los valores más altos de producción de Metano considerando la cantidad de residuos depositados. Nuevamente remarcamos el impacto de una gestión de recupero de fracciones inorgánicas.

7.4 - RESULTADOS DE ESTIMACIONES DE PRODUCCIÓN DE CARBONO EQUIVALENTE

En lo referente a reducción de emisiones de GEI, se confeccionan las mismas tablas presentadas en la sección 7.3.1, modificando el valor de Metano (50%) por el total BIOGAS (100%) en volumen.

Como se demostró en los capítulos 3 y 5, una tonelada de Metano (CH₄) equivale a 23 toneladas de Carbono CO₂.

Por lo tanto, las siguientes tablas 3 y 4 se componen con los valores de producción de BIOGAS teniendo en cuenta que:

$$1 \text{ Tn de BIOGAS} = \underbrace{\frac{1}{2} \text{ Tn CO}_2}_{50\% \text{ CO}_2} + \underbrace{\frac{1}{2} (23) \times \text{Tn CO}_2}_{50\% \text{ CH}_4}$$

Los CASOS I, II y III, se observan en la Tabla 7. 3 y los CASOS IV, V y VI se observan en la Tabla 7. 4.

Tabla 7. 3 - Producción de Carbono Equivalente - CASOS I, II y III

CASO	I	II	III
FRACCIÓN ORGANICA EN VALORES	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO

AÑO	RSU (Tn)	SIN RECUPERO					
		C _{equiv} (Tn)	I (tC _{equiv} /tRSU)	C _{equiv} (Tn)	I (tC _{equiv} /tRSU)	C _{equiv} (Tn)	I (tC _{equiv} /tRSU)
2016	1.218.836	0	0,00	0	0,00	0	0,00
2017	1.229.168	142.886	0,12	186.638	0,15	103.198	0,08
2018	1.239.588	278.625	0,22	361.991	0,29	202.328	0,16
2019	1.250.096	407.645	0,33	526.850	0,42	297.594	0,24
2020	1.260.694	530.351	0,42	681.952	0,54	389.187	0,31
2021	1.271.381	647.121	0,51	827.983	0,65	477.292	0,38
2022	1.282.158	758.314	0,59	965.582	0,75	562.082	0,44
2023	1.293.028	864.266	0,67	1.095.346	0,85	643.725	0,50
2024	1.303.989	965.294	0,74	1.217.827	0,93	722.378	0,55
2025	1.315.043	1.061.698	0,81	1.333.542	1,01	798.193	0,61
2026	1.326.191	1.153.759	0,87	1.442.972	1,09	871.313	0,66
2027	1.337.434	1.241.742	0,93	1.546.564	1,16	941.876	0,70
2028	1.348.771	1.325.896	0,98	1.644.736	1,22	1.010.011	0,75
2029	1.360.205	1.406.457	1,03	1.737.876	1,28	1.075.844	0,79
2030	1.371.736	1.483.646	1,08	1.826.345	1,33	1.139.492	0,83
2031	1.383.364	1.557.671	1,13	1.910.480	1,38	1.201.068	0,87
2032	1.395.092	1.628.729	1,17	1.990.595	1,43	1.260.681	0,90
2033	1.406.918	1.696.938	1,21	2.066.893	1,47	1.318.431	0,94
2034	1.418.845	1.762.474	1,24	2.139.652	1,51	1.374.418	0,97
2035	1.430.873	1.825.505	1,28	2.209.130	1,54	1.428.733	1,00
2036	1.443.003	1.886.189	1,31	2.275.567	1,58	1.481.465	1,03
2037	1.455.235	1.944.675	1,34	2.339.190	1,61	1.532.700	1,05
2038	1.467.572	2.001.102	1,36	2.400.206	1,64	1.582.517	1,08
2039	1.480.013	2.055.603	1,39	2.458.810	1,66	1.630.992	1,10
2040	1.492.559	2.108.302	1,41	2.515.184	1,69	1.678.200	1,12
2041	1.505.212	2.159.316	1,43	2.569.497	1,71	1.724.209	1,15
2042	1.517.972	2.208.755	1,46	2.621.906	1,73	1.769.086	1,17
2043	1.530.840	2.256.724	1,47	2.672.559	1,75	1.812.895	1,18
2044	1.543.817	2.303.320	1,49	2.721.592	1,76	1.855.695	1,20
2045	1.556.905	2.348.637	1,51	2.769.133	1,78	1.897.545	1,22
ACUMULADO	41.436.535	42.011.640	29,49	51.056.598	35,90	32.783.148	22,98
PROMEDIO	1.381.218	1.400.388	0,98	1.701.887	1,20	1.092.772	0,77
% RSU DISPUESTOS	100,00%						

Tabla 7. 4 - Producción de Carbono Equivalente - CASOS IV, V y VI

CASO	IV	V	VI
FRACCIÓN ORGANICA EN VALORES	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO

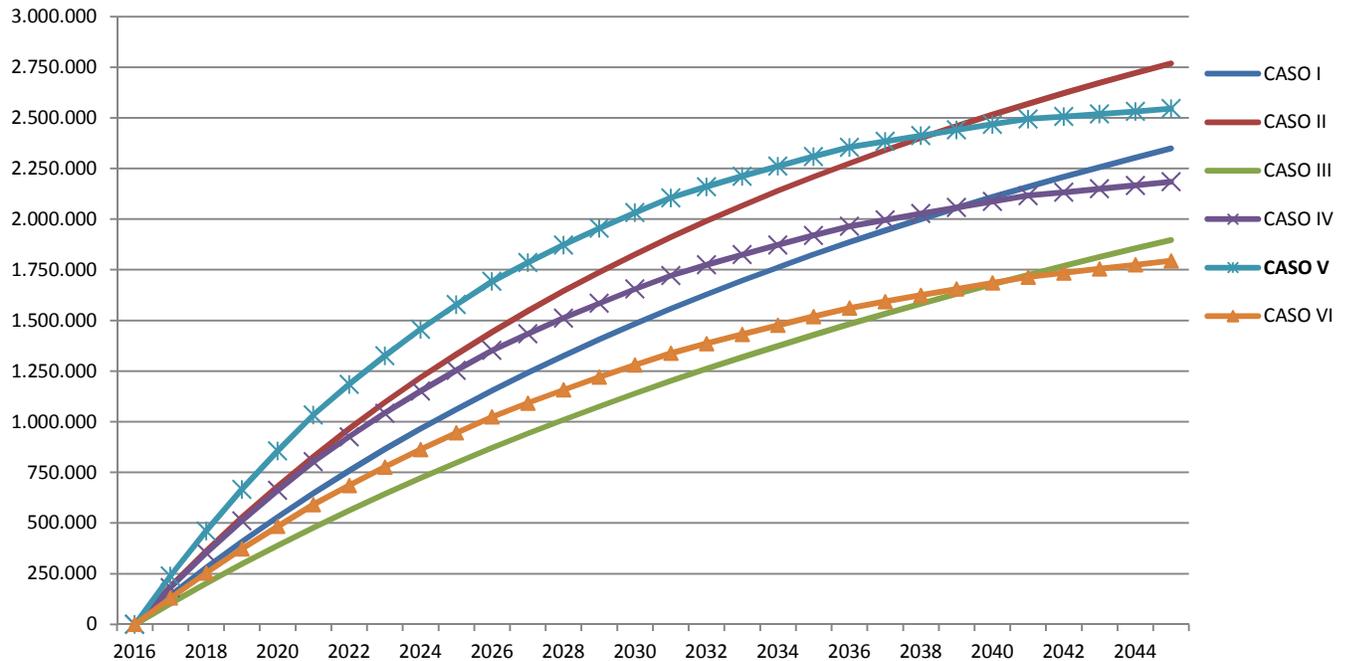
AÑO	RSU (Tn)	CON RECUPERO					
		C _{equiv} (Tn)	I (tC _{equiv} /tRSU)	C _{equiv} (Tn)	I (tC _{equiv} /tRSU)	C _{equiv} (Tn)	I (tC _{equiv} /tRSU)
2016	1.157.894	0	0,00	0	0,00	0	0,00
2017	1.167.710	181.477	0,16	239.507	0,21	130.218	0,11
2018	1.177.608	351.760	0,30	461.217	0,39	254.075	0,22
2019	1.187.591	511.648	0,43	666.620	0,56	371.947	0,31
2020	1.197.659	661.884	0,55	857.082	0,72	484.184	0,40
2021	1.144.243	803.157	0,70	1.033.860	0,90	591.120	0,52
2022	1.153.943	926.147	0,80	1.184.953	1,03	685.919	0,59
2023	1.163.725	1.042.028	0,90	1.325.544	1,14	776.376	0,67
2024	1.173.590	1.151.313	0,98	1.456.520	1,24	862.747	0,74
2025	1.183.539	1.254.476	1,06	1.578.693	1,33	945.277	0,80
2026	1.127.262	1.351.962	1,20	1.692.809	1,50	1.024.195	0,91
2027	1.136.819	1.433.787	1,26	1.785.838	1,57	1.092.261	0,96
2028	1.146.456	1.511.370	1,32	1.873.141	1,63	1.157.500	1,01
2029	1.156.174	1.585.020	1,37	1.955.211	1,69	1.220.083	1,06
2030	1.165.976	1.655.026	1,42	2.032.496	1,74	1.280.172	1,10
2031	1.106.692	1.721.657	1,56	2.105.411	1,90	1.337.918	1,21
2032	1.116.073	1.774.322	1,59	2.160.026	1,94	1.385.688	1,24
2033	1.125.534	1.824.762	1,62	2.212.060	1,97	1.431.774	1,27
2034	1.135.076	1.873.146	1,65	2.261.744	1,99	1.476.283	1,30
2035	1.144.698	1.919.632	1,68	2.309.288	2,02	1.519.314	1,33
2036	1.082.252	1.964.364	1,82	2.354.887	2,18	1.560.960	1,44
2037	1.091.426	1.996.170	1,83	2.383.793	2,18	1.593.196	1,46
2038	1.100.679	2.027.183	1,84	2.412.204	2,19	1.624.616	1,48
2039	1.110.009	2.057.470	1,85	2.440.177	2,20	1.655.276	1,49
2040	1.119.419	2.087.095	1,86	2.467.765	2,20	1.685.228	1,51
2041	1.053.648	2.116.117	2,01	2.495.014	2,37	1.714.521	1,63
2042	1.062.580	2.132.793	2,01	2.506.404	2,36	1.734.738	1,63
2043	1.071.588	2.149.700	2,01	2.518.697	2,35	1.754.801	1,64
2044	1.080.672	2.166.833	2,01	2.531.837	2,34	1.774.727	1,64
2045	1.089.833	2.184.187	2,00	2.545.767	2,34	1.794.532	1,65

ACUMULADO	33.930.368	44.416.488	39,78	53.848.566	48,18	34.919.645	31,30
PROMEDIO	1.131.012	1.480.550	1,33	1.794.952	1,61	1.163.988	1,04
% RSU DISPUESTOS	81,89%						

Como sucede en la producción de Metano, en aquellos casos donde las fracciones orgánicas alcanzan sus valores máximos en la composición general de los residuos, los valores de Carbono equivalentes también serán mayores. Esto se ilustra el siguiente Figura 7. 3.

Tn C_{EQUIV}

Figura 7. 3 - Producción de Carbono Equivalente (Tn)



Como era de esperarse, los valores de producción máximos de carbono equivalente (CE) se alcanza en el **CASO V**, “Fracciones orgánicas en valores Máximos – Con plan de recuperación”, con un acumulado de 53.848.566 Toneladas CE.

Si bien, el **CASO II** (idéntico en proporciones de RSU al CASO V), muestra una curva que alcanza valores de generación sensiblemente mayores al mencionado CASO V, esta situación no plasma la gran diferencia en la cantidad de residuos con las que estos valores son alcanzados. Por esta razón, analizamos en el punto 7.4 de este capítulo el aporte marginal de cada caso, esto es (Toneladas Carbono Equivalente)/(Toneladas de RSU).

7.4.1 - PRODUCCION MARGINAL DE CARBONO EQUIVALENTE “I”

Si consideramos el valor marginal de producción de Carbono Equivalente, denominado Índice “I”, como se observa en la Figura 7. 1, el escenario con mejores valores de producción marginal resulta ser el CASO V, ya que si bien en este caso se alcanza un valor sensiblemente mayor de carbono equivalente que en el CASO II (“Fracciones orgánicas en valores Máximos – Sin plan de recuperación”), la principal ventaja, es que se alcanza este valor, disponiendo un 20% menos de residuos.

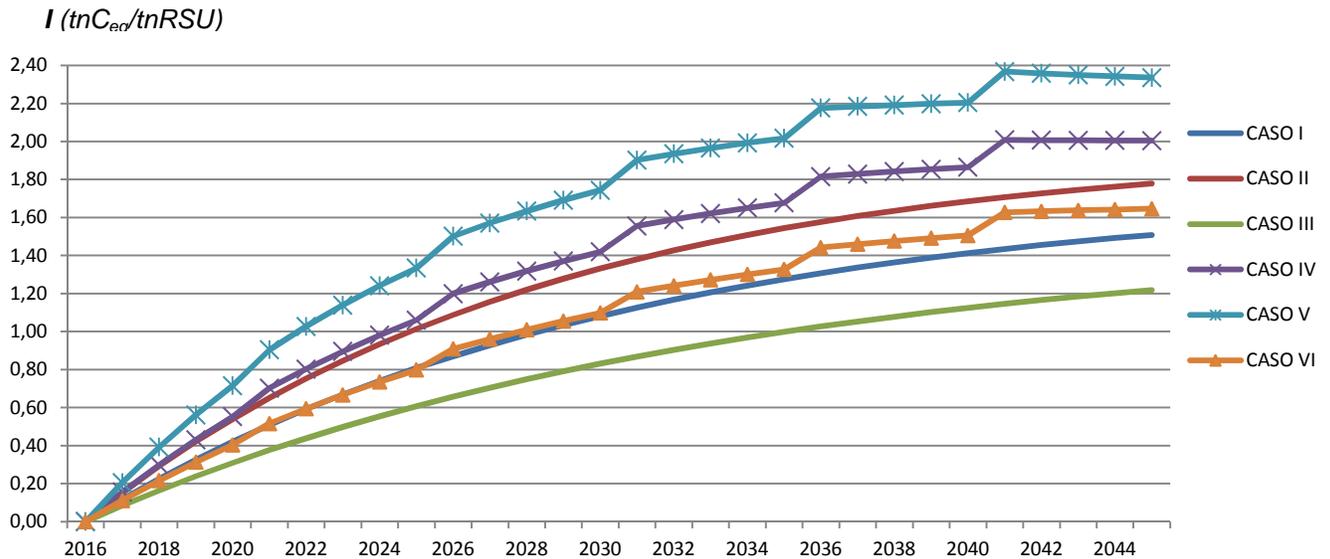


Figura 7. 4 - Producción Marginal Carbono Equivalente

Como se describió oportunamente en el capítulo 5, al momento de estimar las reducciones de emisiones que efectivamente se realizaran en la ejecución del proyecto planteado, se debe calcular la Línea de Base de emisiones.

Con los datos de producción de metano obtenidos y por medio de la Metodología ACM0001 “Metodología consolidada de la línea de base y monitoreo para las actividades del proyecto de gas de relleno sanitario”.

OBSERVACIONES:

Los valores de “Cantidad Neta de Electricidad Generada (EL_{GRS,y})” son tomados del capítulo siguiente, en donde dada una estimación de la capacidad energética instalada, se obtiene un valor de la electricidad neta suministrable al sistema.

La Secretaría de Energía ha calculado el “Factor de Emisión del Margen Operativo” utilizando el método de análisis de datos de la “Herramienta para calcular el factor de emisión para sistemas eléctricos” (Versión 02), El valor mide la Intensidad de las emisiones de CO₂ de la fuente de electricidad desplazada de la línea de base (tCO₂e/MWh) = 0,502.

En la siguiente Tabla 7. 5 se pueden observar los valores obtenidos para caso de estudio:

Tabla 7. 5 - Línea Base de Emisiones de Carbono Equivalente (CASOS I al VI)

CALCULO DE LINEA BASE (Tn CO₂equivalente)						
AÑO	CASO I	CASO II	CASO III	CASO IV	CASO V	CASO VI
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	22.129,40	27.650,30	16.945,88	24.577,47	33.003,37	18.838,60
2018	43.981,18	54.862,22	33.733,78	48.720,13	65.315,39	37.430,14
2019	65.571,99	81.666,50	50.371,56	72.459,00	96.993,97	55.789,14
2020	86.917,50	108.091,78	66.866,69	95.822,92	128.092,22	73.929,31
2021	108.032,45	134.164,72	83.226,29	118.838,70	158.658,88	91.863,55
2022	128.930,75	159.910,14	99.457,16	141.144,28	188.227,86	109.326,34
2023	149.625,48	185.351,16	115.565,75	163.173,73	217.388,88	126.620,43
2024	170.128,96	210.509,31	131.558,23	184.946,94	246.176,39	143.755,84
2025	190.452,80	235.404,64	147.440,44	206.482,38	274.621,98	160.742,04
2026	210.607,93	260.055,83	163.217,99	227.102,02	302.754,61	177.587,94
2027	214.025,56	264.079,82	165.958,95	230.280,49	306.368,24	180.231,91
2028	217.294,48	267.893,24	168.605,62	233.294,14	309.759,49	182.766,07
2029	220.423,81	271.511,18	171.162,85	236.155,03	312.947,42	185.197,07
2030	223.422,15	274.947,70	173.635,22	238.874,37	315.949,52	187.531,18
2031	226.297,62	278.215,88	176.027,12	241.462,61	318.781,84	189.774,31
2032	229.057,85	281.327,90	178.342,72	243.508,33	320.903,33	191.629,89
2033	231.707,36	284.291,65	180.586,01	245.467,65	322.924,58	193.420,09
2034	234.253,07	287.117,91	182.760,76	247.347,11	324.854,51	195.149,00
2035	236.701,47	289.816,73	184.870,60	249.152,80	326.701,33	196.820,50
2036	239.058,71	292.397,47	186.918,97	250.890,38	328.472,57	198.438,22
2037	241.330,54	294.868,83	188.909,14	252.125,89	329.595,43	199.690,41
2038	243.522,43	297.238,96	190.844,24	253.330,57	330.699,05	200.910,91
2039	245.639,48	299.515,40	192.727,24	254.507,06	331.785,64	202.101,86
2040	247.686,53	301.705,21	194.560,99	255.657,81	332.857,25	203.265,32
2041	249.668,13	303.814,97	196.348,19	256.785,12	333.915,75	204.403,18
2042	251.588,56	305.850,78	198.091,42	257.432,92	334.358,15	205.188,51
2043	253.451,88	307.818,36	199.793,14	258.089,66	334.835,70	205.967,84
2044	255.261,89	309.723,02	201.455,69	258.755,15	335.346,09	206.741,85
2045	257.022,18	311.569,71	203.081,31	259.429,27	335.887,22	207.511,18

La tabla anterior muestra los valores de reducciones efectivas las cuales, mediante el proceso de certificación del proyecto MDL, serán susceptibles de ser traducidas a bonos de carbono, pudiendo así estimar uno de los ingresos netos derivados para el proyecto.

Los valores de emisiones reducidas están estrictamente vinculados a la tecnología aplicada en los vertederos, encontrándose una gran variedad de resultados de captación efectiva en los distintos casos de aplicación mundial.

7.6 - DISPOSICIÓN FINAL

Como se observa en la Figura 7. 5, la aplicación de un plan de recuperación de fracciones inorgánicas, disminuye considerablemente la cantidad de residuos acumulados en los predios de disposición final, alargando así su capacidad o vida útil, y aumentando aún más la proporción de fracciones orgánicas en la composición de residuos a disponer. Sin gestión de recupero, se dispondrán 41.436.535 Toneladas de RSU en 30 años. En cambio, con el plan de recuperación propuesto, se dispondrán sólo 33.930.368 Toneladas de RSU (aproximadamente un 20% menos).

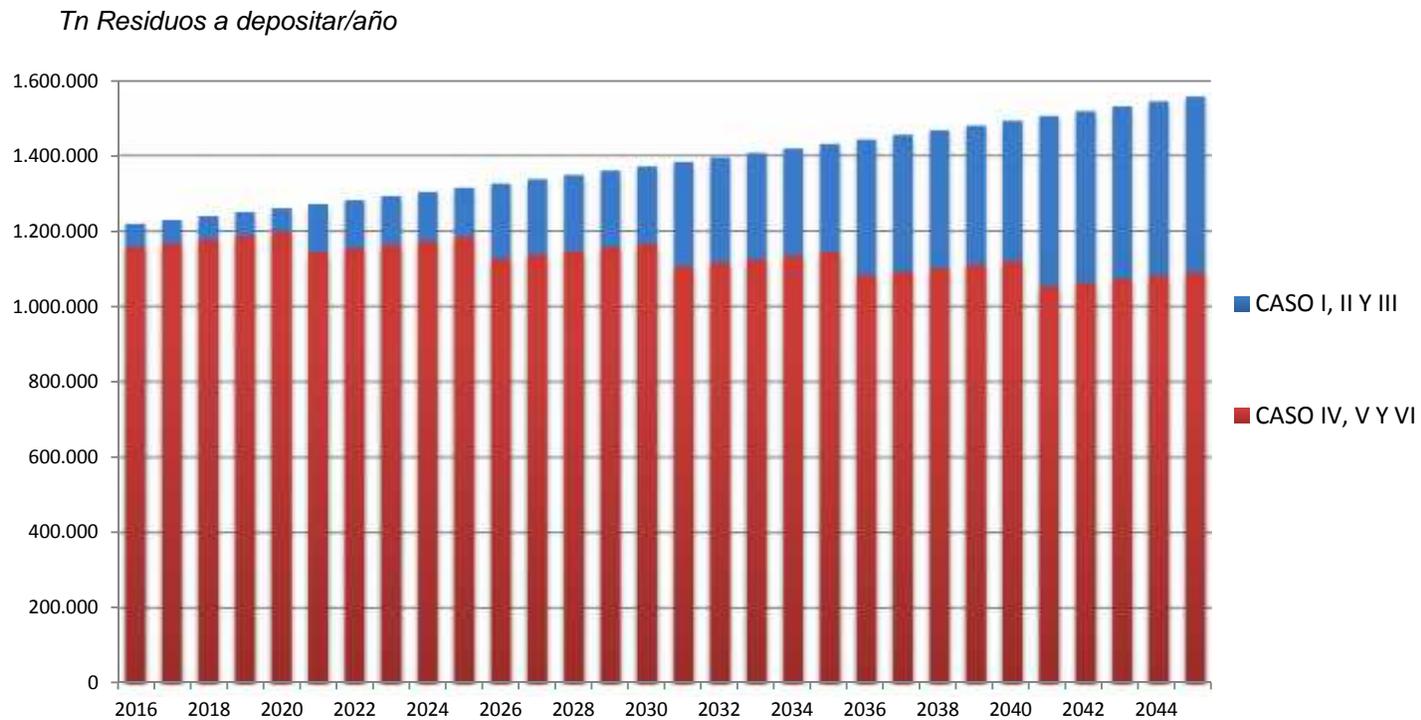


Figura 7. 5 - Disposición de RSU (Tn)

A continuación se resumen los principales datos obtenidos en las estimaciones realizadas en este capítulo.

Tabla 7. 6 - Resumen datos Capítulo 7

		CASO					
		I	II	III	IV	V	VI
		SIN RECUPERO RSU			CON RECUPERO RSU		
DISPOSICIÓN DE RESIDUOS							
	ACUMULADO	41.436.535	41.436.535	41.436.535	33.930.368	33.930.368	33.930.368
	PROMEDIO	1.381.218	1.381.218	1.381.218	1.131.012	1.131.012	1.131.012
	% DE RSU DISPUESTOS	100%			81.89%		
PRODUCCION DE METANO (CH₄) Tn							
	ACUMULADO	1.631.915	1.983.261	1.273.440	1.725.330	2.091.713	1.356.431
	PROMEDIO	54.397	66.109	42.448	57.511	69.724	45.214
PRODUCCION MARGINAL J (CH₄/RSU)							
	ACUMULADO	1.145	1.394	0.892	1.545	1.871	1.215
	PROMEDIO	0.03819	0.04648	0.02975	0.0515	0.06239	0.04053
PRODUCCIÓN DE CEQUIV							
	ACUMULADO	42.011.640	51.056.598	32.787.148	42.416.488	53.848.566	34.919.645
	PROMEDIO	1.400.388	1.701.887	1.092.772	1.480.550	1.794.952	1.163.988
PRODUCCION MARGINAL I (C_{EQUIV}/RSU)							
	ACUMULADO	29.49	35.90	22.98	39.78	48.18	31.30
	PROMEDIO	0.98	1.20	0.77	1.33	1.61	1.04

7.7 - CONCLUSIONES

Según los valores expuestos en este capítulo, el CASO V es el que más favorable respecto a los valores absolutos de producción de biogás, metano y carbono equivalente. Esto no es sorpresa ya que las tres variables mencionadas son dependientes entre sí.

Queda en evidencia que una gestión adecuada de residuos tiene un impacto muy positivo tanto en la reducción de las cantidades finales a depositar de RSU como así también en lo que respecta a producción de *incomes* por transformación de energía y transacciones en el mercado de valores de carbono.

Si bien el CASO V representa como se ha definido, el escenario en donde las fracciones orgánicas alcanzan su valor máximo (promedio + desvío), esto no es en sí mismo una condición librada al azar, por el contrario una consecuencia de políticas de políticas ambientales de gran envergadura.

La educación de la sociedad en general, de los fabricantes de productos de consumo masivo, las políticas de empaques y embalajes de los productos son algunas de las variables de ajuste más importantes que conllevarían a esta condición o escenario deseado.

CAPITULO 8: ANALISIS ECONOMICO

8.1 - INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza un análisis de acuerdo a las implicaciones económicas que se derivan de los distintos casos de estudio.

Habiendo estimado en el capítulo 7 los niveles de producción e instalaciones necesarias con sus respectivos valores de mercado, serán estos últimos volcados en este capítulo en un flujo de fondos proyectado.

Dentro de la producción de Biogas, cabe recordar para esta sección, la diferencia entre:

-) El valor de internacional de Bonos de Carbono provenientes de la captura y/o eliminación de CO₂ (equiv).
-) El valor del Metano como combustible, susceptible de captación y utilización energética.

Se describen en esta sección las estimaciones de los distintos ingresos provenientes de la comercialización de bonos de carbono, la venta de las fracciones recuperadas y la retribución por la energía provista a la red. Así como también los costos asociados a cada caso o tipo de gestión planteados.

El objetivo final de este capítulo será plasmar cada escenario de gestión planteado, considerando sus beneficios y costos económicos.

Las consideraciones ambientales propias de cada caso de análisis, serán abordadas en el próximo capítulo.

8.2 - INGRESOS DEL PROYECTO

8.2.1 - INGRESOS POR BONOS DE CARBONO

8.2.1.1 - EVOLUCIÓN DEL VALOR DE LOS BONOS DE CARBONO

La cotización de los EU-ETS (certificados de emisión de la Unión Europea) ha tenido un marcado deterioro en la evolución de sus precios desde el momento de su mayor auge en los años 2006-2007 cuya cotización estaba entre 20 y 24 Euros por certificado, a un precio de 4 Euros a finales de 2012. De ahí en más la cotización de los CERs, cuyos precios se encuentran relacionados con las cotizaciones de los Estados Unidos, estuvo oscilando entre los 4 y 5 Euros, pero nunca más llegó a los valores de cotización de sus comienzos. Ver Figura 8. 1.

Según datos de Barclays Capital, el precio promedio para los CERs en el mercado retrocedió desde 23 euros, en agosto de 2008, a un promedio de 4 euros en marzo de 2012. En enero de 2012 marcó su mínimo histórico, con un valor de 3,28 euros. Uno de los factores que influyó en esta profunda y marcada caída fue sin duda la crisis del mercado Europeo en 2009 que era el principal comprador de estos certificados como así también la sobreoferta de proyectos generadores de este tipo de certificados.

Si bien en los mercados de carbono voluntario se manejan otras cotizaciones vinculadas a las negociaciones individuales de la oferta y demanda en cada proyecto las expectativas e incertidumbres en el mercado obligatorio internacional influye y condiciona las negociaciones entre partes individuales.

En el pasado 2015 y al comenzar el 2016, el mercado se mostró favorable para las inversiones en energías renovables gracias a una serie de medidas tomadas principalmente orientadas al freno en la oferta de los EU-ETS (en el mercado Europeo). Esta medida fue conocida como "backloading" y tuvo como objetivo eliminar 900 millones de permisos de emisión en el mercado de la Unión Europea hasta el presente año 2016. El resultado de estas medidas puede observarse en la actual cotización de los bonos en el mercado europeo (Figura 8.2).

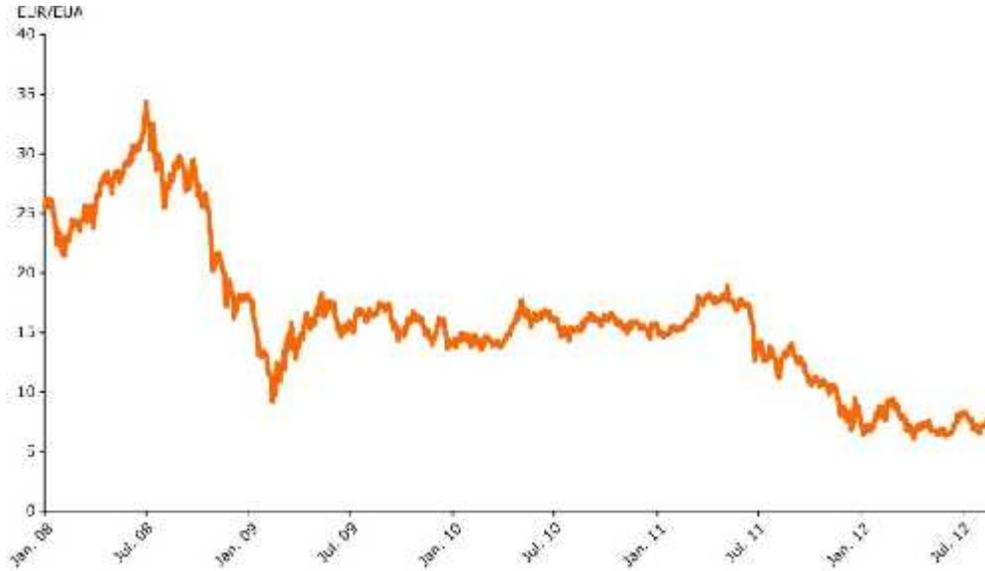


Figura 8. 1 - Cotización EU ETS (2008/2012)

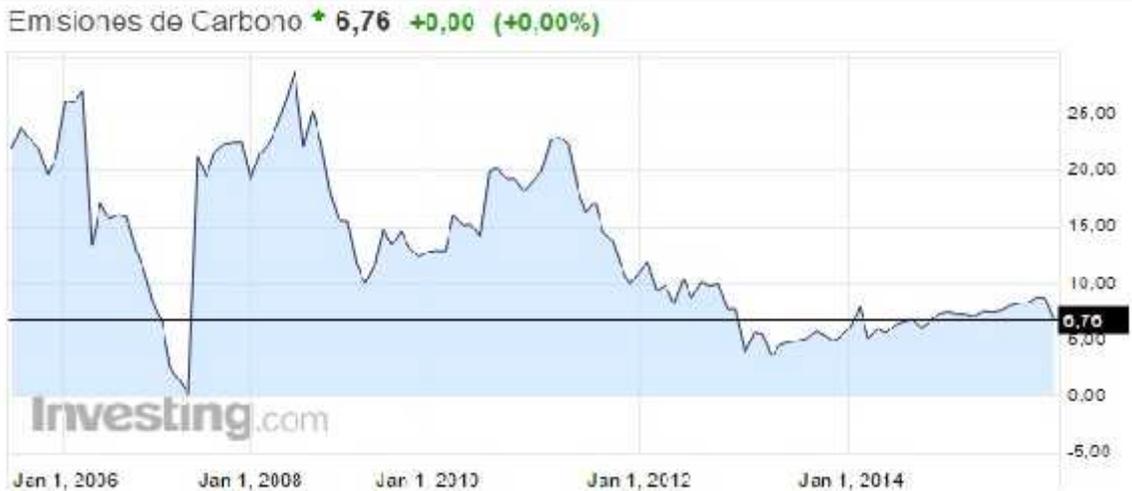


Figura 8. 2 - Cotización actual de CERs (Euros)

Fuente: Point Carbon (2012): Daily closing prices for EU-ETS, 15 June 2016.

Todas estas apreciaciones son las que hacen muy difícil estimar con precisión un valor para los bonos de carbono en el futuro. Por esto se define una valuación conservadora para abordar el flujo de fondos mencionado, considerando la situación actual del mercado. **El valor de los bonos de carbono, será tomado a U\$D 8,81.**

8.2.1.2 PARTICIPACIÓN EN EL MERCADO DE REDUCCIONES POR TIPO DE PROYECTO

Los proyectos de energía renovable explicaron el 45% de las transacciones realizadas en 2011 (35 MtCO₂e). De este volumen, correspondieron a los proyectos eólicos 23,5 MtCO₂e transadas (30%). Los proyectos de forestación y reforestación lograron aumentar su participación en el mercado en 2011 llegando a las 7,6 MtCO₂e (10%), mientras que los créditos provenientes de proyectos REDD (reducción de emisiones por deforestación y degradación de bosques) cayeron 59% respecto de 2010 a 7,3 MtCO₂e (un valor de todas formas significativo con créditos transados a precios altos – 9%). La caída en el volumen de transacciones de proyectos REDD puede atribuirse tanto a cuestiones políticas como técnicas así como al interés en créditos de bajo precio. Los proyectos de captura de metano también se mantuvieron atractivos, si bien se realizaron menos transacciones que en 2010. Por su parte, los proyectos de biomasa (incluida la purificación de agua) y las estufas limpias tuvieron un buen desempeño en 2011.

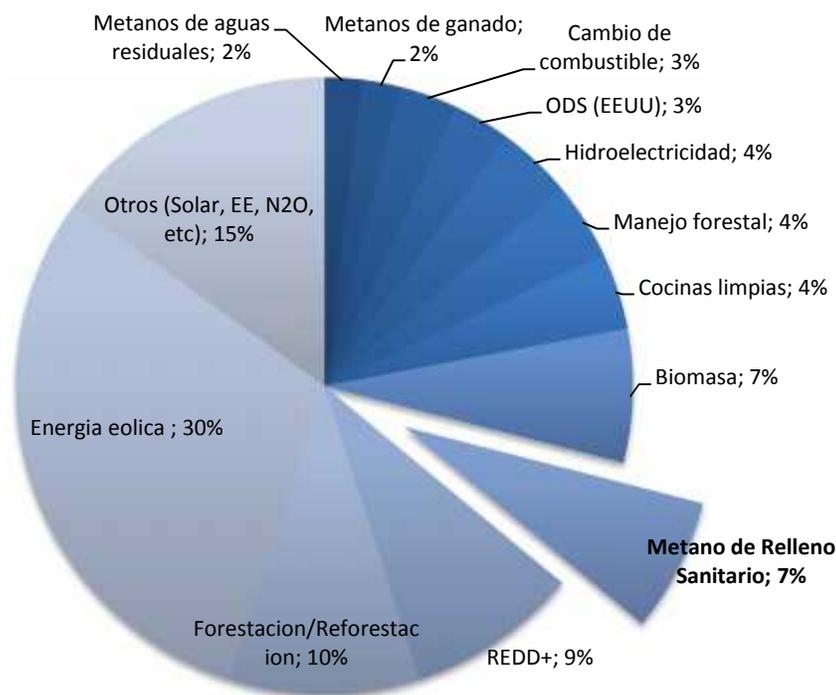


Figura 2. 13 - Participación en el mercado de reducciones por tipo de proyecto

Fuente: Elaboración propia en base a *Ecosystem Marketplace* y *Bloomberg New Energy Finance* (2012)

8.2.2 - INGRESOS POR VENTA DE MW

8.2.2.1 - COTIZACIÓN DEL MW/h ACTUAL EN ARGENTINA

Como aspecto fundamental de este proyecto, la determinación de la conveniencia económica de una u otra alternativa de gestión de residuos planteada, resulta de vital importancia la determinación de este valor, ya que como se observará más adelante en la evaluación económica, representa entre el 74% y 95% de los ingresos según cada caso.

Para definir el valor de mercado del MW/h, se ha tomado como referencia tanto, el reciente caso de la Central Eléctrica del Buen Ayre (2010), como así también se ha considerado un análisis económico de dicho valor de mercado realizado por el Ing. Joaquín González, ex alumno de la FCFyN en su trabajo de Practica Supervisada:

“Alternativas de captación y tratamiento del biogas en el vertedero de Piedras Blancas, Córdoba, Argentina” (Dic 2014).

8.2.2.2 - LA CENTRAL BUEN AYRE

En el año 2010 la empresa ENARSA (Energía Argentina SA) llamó a Licitación Pública Internacional, donde la empresa se adjudicó 10MW, de los 20MW licitados correspondiente al renglón BIOGÁS. A cambio de la inversión realizada por la empresa ganadora para la ejecución de las obras, ENARSA compro la energía durante los 14 años siguientes a precio fijo en dólares. Al ser un proyecto MDL, se llevaron a cabo todas las gestiones a nivel nacional e internacional para la aprobación del proyecto como MDL ante la UNFCCC. Dicha aprobación fue emitida por el DNV (DNV GL es uno de los principales proveedores mundiales de sistemas de gestión de certificación acreditados) en febrero de 2012 y registrada en las Naciones Unidas con el N° 5861 con un período de acreditación de 10 años.

La central, cuya construcción demandó unos diez meses con una inversión total de 150 millones de pesos, está entregando actualmente al sistema interconectado nacional una potencia de 7,1 MW. Funcionando desde marzo de 2013, llegando a los 11,7 MW finales. El contrato firmado con Enarsa, en el marco del Programa de Generación Eléctrica a partir de Fuentes Renovables (Genren), con una tarifa fija de 123,97 dólares por MW/hora durante un período de 14 años.

8.2.2.3 - ANÁLISIS ECONÓMICO POR EL ING. JOAQUIN GONZALEZ

En el informe citado, más precisamente sección 6.8 “Evaluación Económica - Presupuesto de las alternativas de tratamiento de gases”, se plantea el cálculo del valor que debería pagar el estado por MWh para que el resultado del estudio económico (valor de la VAN) resulte igual a cero. Este valor se encontró por medio de iteraciones hasta llegar a que el valor actual neto (VAN) sea igual a cero, lo cual representa una condición de mínima rentabilidad de un proyecto de inversión a futuro.

El valor obtenido en este estudio del MWhr determinado fue de AR\$ 385,0 (2014), que se corresponden a U\$D 44,87 (conversión del Banco Nación Dic. 2014).

8.2.2.4 - VALOR DE MW/hr PARA ESTE ESTUDIO

Debido a la naturaleza del proyecto planteado y los antecedentes planteados, se toma como valor de MW/hr para este estudio el valor obtenido de la Central Buen Ayre:

1 MW/hr= U\$D 123,97.

En la sección 8.3.1 de este capítulo se realizará una estimación de la capacidad energética de cada vertedero propuesto, tomando como referencia el estudio citado del Ing. Joaquín González, quien a través de un cómputo métrico, ha discriminado y asociado cada elemento constructivo de una planta de captura y transformación de biogas en el relleno sanitario de Piedras Blancas, a unidades de U\$D/TnRSU.

De esta forma se obtiene un método para estimar, por un lado los costos de inversión en infraestructura necesarios para cada vertedero, como así también los ingresos asociando el valor de MW/hr con la capacidad de cada planta.

8.2.3 - INGRESOS POR VENTA DE FRACCIONES RECUPERADAS

A partir del estudio realizado en la provincia de Buenos Aires, “la factibilidad técnica, ambiental y económica de la separación y utilización de los residuos sólidos como recurso a gran escala en el área metropolitana de buenos aires”, por la Ing. Rosalba Sarafian, se obtienen los valores actualizados de reventa de las fracciones recuperadas como el costo total de inversión en las instalaciones necesarias.

Considerando esta información y los valores obtenidos en el Capítulo 6, se estiman los ingresos por venta de fracciones recuperadas del proyecto para los CASOS IV, V y VI, en los cuales se plantea una misma gestión de recupero de fracciones inorgánicas.

Del mismo modo, se obtiene un valor estimado del costo total de inversión del sistema de separación de residuos. Para este proyecto, se obtiene un valor de costo operativo por tonelada de residuo a separar (U\$D/Tn), lo cual permite estimar los costos de operación para los 3 casos mencionados.

En la siguiente

se muestran los resultados obtenidos resumiendo los valores a los 6 periodos consecutivos en que se divide el programa planteado de recuperación. Los valores consignados están en Dólares (U\$D).

FRACCION	VALOR DE MERCADO (U\$D/Tn)	CASO	Tn - U\$D	PERIODO 1	PERIODO 2	PERIODO 3	PERIODO 4	PERIODO 5	PERIODO 6
PAPEL	27,87	CASO IV	CANTIDAD RECUPERADA	74.589	155.607	243.473	338.628	441.532	552.680
			VALOR ESTIMADO	2.079.136	4.337.477	6.786.704	9.439.108	12.307.512	15.405.714
		CASO V	CANTIDAD RECUPERADA	74.565	155.559	243.398	338.520	441.395	552.508
			VALOR ESTIMADO	2.078.467	4.336.139	6.784.613	9.436.098	12.303.693	15.400.920
		CASO VI	CANTIDAD RECUPERADA	75.732	157.992	247.206	343.815	448.298	561.150
			VALOR ESTIMADO	2.110.997	4.403.958	6.890.760	9.583.693	12.496.111	15.641.812
PLÁSTICOS	29,69	CASO IV	CANTIDAD RECUPERADA	92.753	193.504	302.770	421.095	549.062	687.279
			VALOR ESTIMADO	2.753.504	5.744.439	8.988.155	12.500.799	16.299.680	20.402.847
		CASO V	CANTIDAD RECUPERADA	92.735	193.465	302.710	421.013	548.954	687.145
			VALOR ESTIMADO	2.752.969	5.743.282	8.986.374	12.498.365	16.296.474	20.398.869
		CASO VI	CANTIDAD RECUPERADA	94.185	196.493	307.445	427.600	557.542	697.894
			VALOR ESTIMADO	2.796.015	5.833.172	9.126.939	12.693.909	16.551.421	20.717.968
METALES	6,97	CASO IV	CANTIDAD RECUPERADA	14.977	31.246	48.888	67.994	88.657	110.976
			VALOR ESTIMADO	104.369	217.742	340.683	473.826	617.819	773.352
		CASO V	CANTIDAD RECUPERADA	14.991	31.276	48.935	68.060	88.742	111.082
			VALOR ESTIMADO	104.467	217.951	341.010	474.286	618.411	774.091
		CASO VI	CANTIDAD RECUPERADA	15.226	31.764	49.701	69.124	90.131	112.820
			VALOR ESTIMADO	106.105	221.352	346.348	481.700	628.091	786.202
VIDRIO	3,83	CASO IV	CANTIDAD RECUPERADA	34.327	71.617	112.056	155.850	203.210	254.365
			VALOR ESTIMADO	131.567	274.490	429.483	597.334	778.854	974.918
		CASO V	CANTIDAD RECUPERADA	34.327	71.614	112.052	155.843	203.202	254.355
			VALOR ESTIMADO	131.567	274.479	429.468	597.308	778.823	974.880
		CASO VI	CANTIDAD RECUPERADA	34.864	72.734	113.804	158.281	206.380	258.334
			VALOR ESTIMADO	133.625	278.771	436.183	606.652	791.003	990.130

CASO IV	TOTAL INGRESOS	5.068.576	10.574.149	16.545.024	23.011.068	30.003.865	37.556.831
CASO V	TOTAL INGRESOS	5.067.470	10.571.851	16.541.465	23.006.056	29.997.402	37.548.759
CASO VI	TOTAL INGRESOS	5.146.741	10.737.254	16.800.229	23.365.955	30.466.627	38.136.112

8.3 - EGRESOS DEL PROYECTO

8.3.1 - INSTALACIONES DE CAPTURA Y TRANSFORMACIÓN

En la siguiente Tabla 8. 1 se detalla el cálculo del costo total de cada instalación de captura y tratamiento. Los valores de cada elemento representan “unidades” y son proporcionales a los obtenidos para la Región Metropolitana, del estudio del Ing. Joaquín González.

COSTOS TOTALES			REGION LIMPIA												
COSTOS TOTALES			Metropolitana	Punilla - Norte	Traslasierras	Arroyito	Villa del Rosario	San Francisco	Villa Nueva	Calamuchita	Río Cuarto	Monte Maíz	Laboulaye	Huinca Renancó	Sin Región
COSTO TOTAL (USD + IVA)			2.824.386,52	992.402,35	950.902,96	946.627,28	950.243,34	970.433,44	999.993,95	949.519,07	1.001.307,60	971.281,72	946.862,77	949.542,49	947.098,25
COSTO UNITARIO			118	1.991	23	65	437	19.679	198.739	2.226	1.979	217.252	2.639	494.842	
CANTIDADES			1.382	216	38	19	35	126	250	32	256	130	20	32	21
CANTIDADES			10	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
CANTIDADES			5.785	902	159	78	146	526	1.046	133	1.069	542	83	134	88
CANTIDADES			126	20	4	2	4	12	23	3	24	12	2	3	2
CANTIDADES			3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
CANTIDADES			4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			10.427	1.625	286	140	262	946	1.884	239	1.927	976	149	241	157
CANTIDADES			250.000	38.965	6.853	3.365	6.275	22.691	45.177	5.728	46.197	23.393	3.566	5.773	3.760
CANTIDADES			1.382	216	38	19	35	126	250	32	256	130	20	32	21
CANTIDADES			10	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
CANTIDADES			5.785	902	159	78	146	526	1.046	133	1.069	542	83	134	88
CANTIDADES			126	20	4	2	4	12	23	3	24	12	2	3	2
CANTIDADES			3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
CANTIDADES			4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CANTIDADES			10.427	1.625	286	140	262	946	1.884	239	1.927	976	149	241	157
CANTIDADES			250.000	38.965	6.853	3.365	6.275	22.691	45.177	5.728	46.197	23.393	3.566	5.773	3.760

Tabla 8. 1 - Computo métrico de instalaciones de captura v transformación

De la tabla anterior se obtiene un valor final de la infraestructura necesaria para la provincia de Córdoba para la captación y transformación del biogas generado en cada una de las 13 Regiones Limpias planteadas.

El costo total en instalaciones de captación y tratamiento asciende a U\$D 14.400.601, considerando este valor invariable en los distintos casos de gestión planteados.

Una inversión adicional será considerada para los CASOS IV, V y VI en los cuales se planteó una gestión de recuperación de fracciones inorgánicas previo al vertido de los mismos en el vertedero. Considerando los datos obtenidos en el informe “La factibilidad técnica, ambiental y económica de la separación y utilización de los residuos sólidos como recurso a gran escala en el área metropolitana de buenos aires”, por la Ing. Rosalba Sarafian, se calcula un valor del costo total en instalaciones de recuperación que asciende a U\$D 733.333. También invariable en los 3 últimos casos.

Según información del proveedor de Generadores eléctricos, estos tienen una vida útil de 15 años, debido principalmente a la naturaleza agresiva de los compuestos ácidos del biogas (pese a haber sido previamente filtrado). Por este motivo, en los 6 casos de estudio se plantea la reposición de los Generadores con un costo total estimado de U\$D 7.917.468.

8.3.3 - GASTOS OPERATIVOS

Los siguientes costos/gastos fueron considerados para la evaluación económica (Tabla 8. 2):

Tabla 8. 2 - Estructura de gastos del proyecto

EGRESOS	MAGNITUD	UNIDAD DE CALCULO	TIPO	FUENTE
Instalaciones de captación y transformación	U\$D 14.400.601	COMPUTO METRICO	INVERSION INICIAL	"ALTERNATIVAS DE CAPTACIÓN Y TRATAMIENTO DEL BIOGAS EN EL VERTEDERO DE PIEDRAS BLANCAS" PPS - ING. JOAQUIN GONZALEZ
Instalaciones de separación	U\$D 733.333	COMPUTO METRICO	INVERSION INICIAL	"LA FACTIBILIDAD TÉCNICA, AMBIENTAL Y ECONÓMICA DE LA SEPARACIÓN Y UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS COMO RECURSO A GRAN ESCALA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUENOS AIRES" - ING. ROSALBA SARAFIAN
Tratamiento de residuos	15,58	U\$D/Tn	f (Tn de RSU)	
Operación/mantenimiento, Generación Energía	19,00	U\$D/Tn	f (Tn de RSU)	MECANISMO PARA UN DESARROLLO LIMPIO FORMULARIO DEL DOCUMENTO DE DISEÑO DE PROYECTO (MDL-DDP) Versión 03 – en vigencia desde: 28 de julio de 2006 (CENTRAL BUEN AYRE)
Consumo de electricidad	5.58	U\$D/MW(hr)	f (MW/hr)	
Mantenimiento y seguridad	444.009	U\$D/instalación	FIJO ANUAL	
Mantenimiento de sistema de transmisión	63.259	U\$D/instalación	FIJO ANUAL	
Gastos administrativos	87165	U\$D/instalación	FIJO ANUAL	
Impuesto a las Ganancias	35,0	%	% INGRESOS NETOS	Ley Impositiva Nacional. - N° 23.349
Impuesto al Débito	0,4	%		
Impuesto al Crédito	0,6	%		
Ingresos Brutos	1,0	%		
Cuota préstamo del BID	1/10 P	USD	10 Cuota fijas	Sistema de Pago Francés (2,5% de interés)

8.4 - EVALUACION ECONOMICA

Los ingresos y egresos descritos serán volcados en un flujo de fondos proyectados para cada escenario planteado. De esta manera, se obtiene una herramienta cuantitativa para la determinación de la conveniencia de uno u otro respecto a las condiciones variables que han planteado.

8.3.1 RESUMEN DE SUPOSICIONES

Las siguientes suposiciones fueron usadas en la evaluación económica del proyecto:

-) La evaluación económica considera un periodo de 15 años (2016-2031). Debido a la Naturaleza Financiera de esta sección
-) Se considera un escenario para el precio de reducción de emisiones, con precio de venta de U\$D 8,81 por Tonelada de CO₂ equiv hasta el 2012.
-) Se considera un valor de MW/h de U\$D 124,00
-) La inversión inicial del sistema colección y quema de biogás, planta de energía, uso directo ocurrirá en el 2016.
-) Toda la electricidad producida por el proyecto será vendida.
-) Se establece un régimen de puesta en marcha del sistema con un crecimiento exponencial alcanzando el estado de régimen a los 10 años de funcionamiento.
-) La totalidad de la inversión será considerada en un 60% por el Banco Interamericano de Desarrollo y el 40% restante por accionistas privados.

8.3.2 PRIMA DE RIESGO DEL MERCADO (WACC)

Las tasas de interés consideradas se obtienen a partir del informe "Estimating the Cost of Capital in Emerging Markets" Pereyra Terra, Manuel de la Kellogg School of Management.

La tasa de descuento a utilizar se denomina WACC (del inglés *Weighted Average Cost of Capital*) denominado Coste Medio Ponderado de Capital (CMPC), es la tasa de descuento que debe utilizarse para descontar los flujos de fondos operativos para valorar una empresa utilizando el descuento de flujos de fondos, en el "enterprise approach". Según el teorema citado, considerando la naturaleza de la industria de producción de energía, el estado económico actual del país y las tasas de deuda que se toman actualmente en el País, se obtiene el 18,97% para inversionistas privados.

-) Tasa de interés del BID: 2,5% anual a 10 años (*).
-) Tasa de Interés de Privados: 18,97% anual a 15 años.

El valor resultante de la WACC será entonces un promedio ponderado de las tasas citadas considerando su participación en el capital invertido:

$$WACC = [60\% (2,5) + 40\% (18,97)] / 2$$

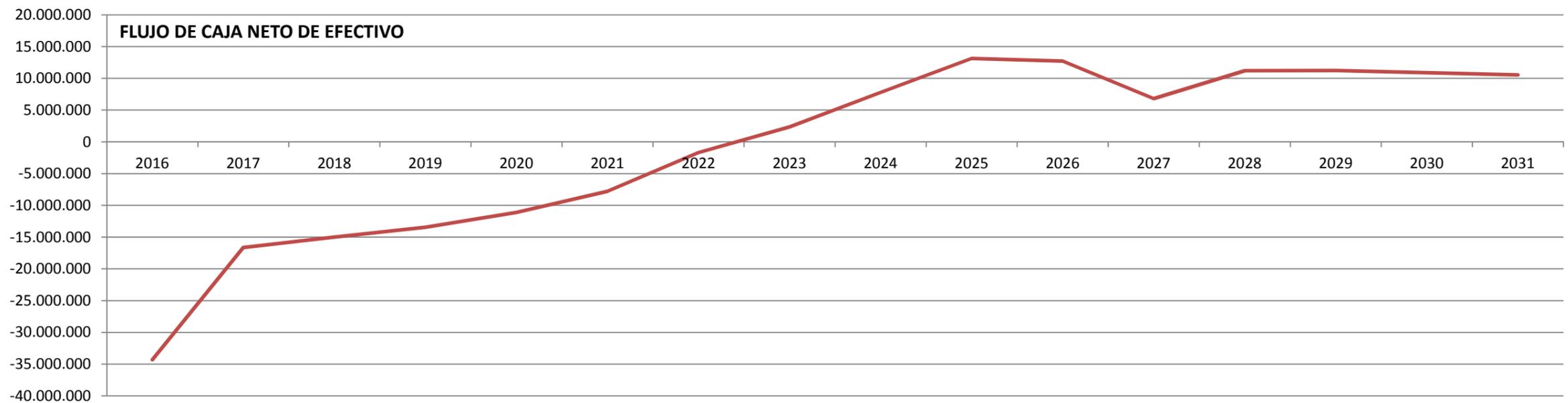
$$WACC = 9,088 \%$$

(*) Fuente: www.iadb.org/finanzas (Publicación BID Tasas de interés y cargos financieros vigentes Aplicables a todos los productos financieros 2nd Trimestre 2016 y 1er Trimestre 2016)

8.3.3 – FLUJO DE FONDOS PROYECTADO

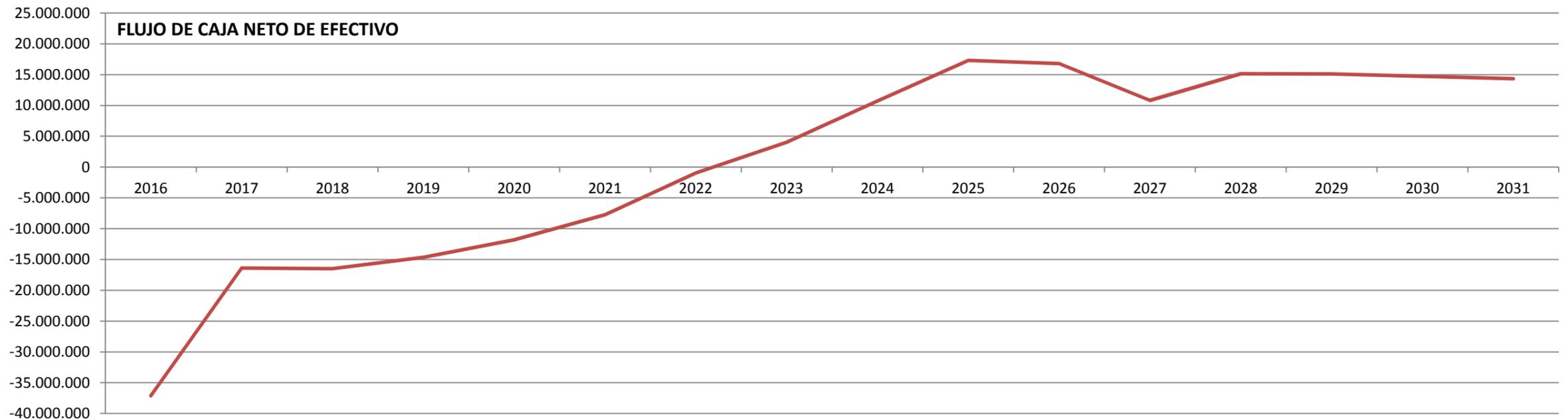
Se muestran a continuación los flujos de fondos proyectados para los 6 escenarios planteados. Posteriormente se analizan los indicadores financieros de cada uno para analizar la conveniencia de uno u otro desde el punto de vista financiero.

CASO I	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	PREPETUIDAD
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Carbono Equivalente (Tn)	0,00	142.886,00	278.625,00	407.645,00	530.351,00	647.121,00	758.314,00	864.266,00	965.294,00	1.061.698,00	1.153.759,00	1.241.742,00	1.325.896,00	1.406.457,00	1.483.646,00	1.557.671,00	
Potencia instalada (MW)	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	56,55	
FUNCIONAMIENTO	10%	13%	17%	22%	29%	37%	48%	63%	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
SITUACIÓN INICIAL	0	-34.304.925	-16.644.453	-14.987.555	-13.440.677	-11.117.602	-7.801.256	-1.685.801	2.369.645	7.806.575	13.138.566	12.724.895	6.825.207	11.197.895	11.232.202	10.885.866	
INGRESOS (US\$D)																	
INGRESOS POR MW/H	0	6.387.007	8.303.109	10.794.042	14.032.255	18.241.931	23.714.511	30.828.864	40.077.523	49.130.825	49.130.825	49.130.825	49.130.825	49.130.825	49.130.825	49.130.825	
INGRESOS POR CERS	0	1.258.826	2.454.686	3.591.352	4.672.392	5.701.136	6.680.746	7.614.183	8.504.240	9.353.559	10.164.617	10.939.747	11.681.144	12.390.886	13.070.921	13.723.082	
INGRESOS POR RECICLADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SUBTOTAL INGRESOS (SIN IMPUESTOS)	0	7.645.833	10.757.796	14.385.395	18.704.647	23.943.067	30.395.257	38.443.047	48.581.763	58.484.384	59.295.442	60.070.572	60.811.969	61.521.711	62.201.746	62.853.906	
EGRESOS																	
INSTALACIONES DE CAPTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN	14.400.602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.917.468	0	0	0		
TRATAMIENTO DE RESIDUOS	0	2.226.164	4.340.978	6.351.109	8.262.869	10.082.145	11.814.532	13.465.264	15.039.281	16.541.255	17.975.565	19.346.340	20.657.460	21.912.600	23.115.205	24.268.514	
OPERACIÓN/MANTENIMIENTO, GENERACIÓN ENERGÍA	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	9.412.415	
MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	2.764.278	
MTTO. SIST. DE TRANSMISIÓN DE MEDIANO VOLTAJE	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	
GASTOS ADMINISTRATIVOS	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	
IMPUESTOS(IB + IMP DEB + IMP CRED)	0	152.917	215.156	287.708	374.093	478.861	607.905	768.861	971.635	1.169.688	1.185.909	1.201.411	1.216.239	1.230.434	1.244.035	1.257.078	
CUOTA DEL BID	0	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	1.593.542	1.593.542	1.593.542	1.593.542	1.593.542	
TOTAL DE EGRESOS	34.304.925	23.262.473	25.439.526	27.522.210	29.520.354	31.444.399	33.305.830	35.117.518	36.894.308	38.594.335	40.044.867	49.963.085	43.371.564	44.640.900	45.857.105	47.023.458	
EBITDA	-34.304.925	-15.616.640	-14.681.730	-13.136.815	-10.815.707	-7.501.332	-2.910.573	3.325.530	11.687.455	19.890.049	19.250.575	10.107.487	17.440.404	16.880.811	16.344.641	15.830.449	
AMORTIZACIÓN	0	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
IMPUESTO A LAS GANANCIAS	0	0	0	0	0	0	-1.522.722	659.914	3.586.588	6.457.496	6.233.680	2.983.398	5.549.919	5.354.061	5.166.402	4.986.434	
NOPAT	-34.304.925	-17.056.700	-16.121.790	-14.576.875	-12.255.767	-8.941.392	-2.827.911	1.225.555	6.660.807	11.992.493	11.576.835	5.540.596	10.306.992	9.943.257	9.594.746	9.260.521	
PAGO DE INTERESES DE PRESTAMO BID	0	30.417	27.404	24.385	21.359	18.327	15.289	12.244	9.661	9.192	6.135	16.723	13.393	10.055	6.710	3.358	
ESCUDO FISCAL	0	10.646	9.591	8.535	7.476	6.414	5.351	4.285	3.381	3.217	2.147	5.853	4.688	3.519	2.349	1.175	
INGRESO NETO	-34.304.925	-17.076.471	-16.139.603	-14.592.725	-12.269.650	-8.953.304	-2.837.849	1.217.597	6.654.527	11.986.518	11.572.847	5.529.726	10.298.286	9.936.721	9.590.384	9.258.338	
SITUACIÓN FINAL	-34.304.925	-51.381.396	-32.784.056	-29.580.280	-25.710.328	-20.070.907	-10.639.106	-468.205	9.024.172	19.793.093	24.711.413	18.254.621	17.123.494	21.134.615	20.822.587	20.144.204	
AMORTIZACIÓN		1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
MANTENIMIENTO DE CAPITAL DE TRABAJO		288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	
GASTOS EN CAPITAL		720.030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	395.873	0	0	0	
FLUJO DE CAJA NETO DE EFECTIVO	-34.304.925	-16.644.453	-14.987.555	-13.440.677	-11.117.602	-7.801.256	-1.685.801	2.369.645	7.806.575	13.138.566	12.724.895	6.825.207	11.197.895	11.232.202	10.885.866	10.553.820	230.103.015



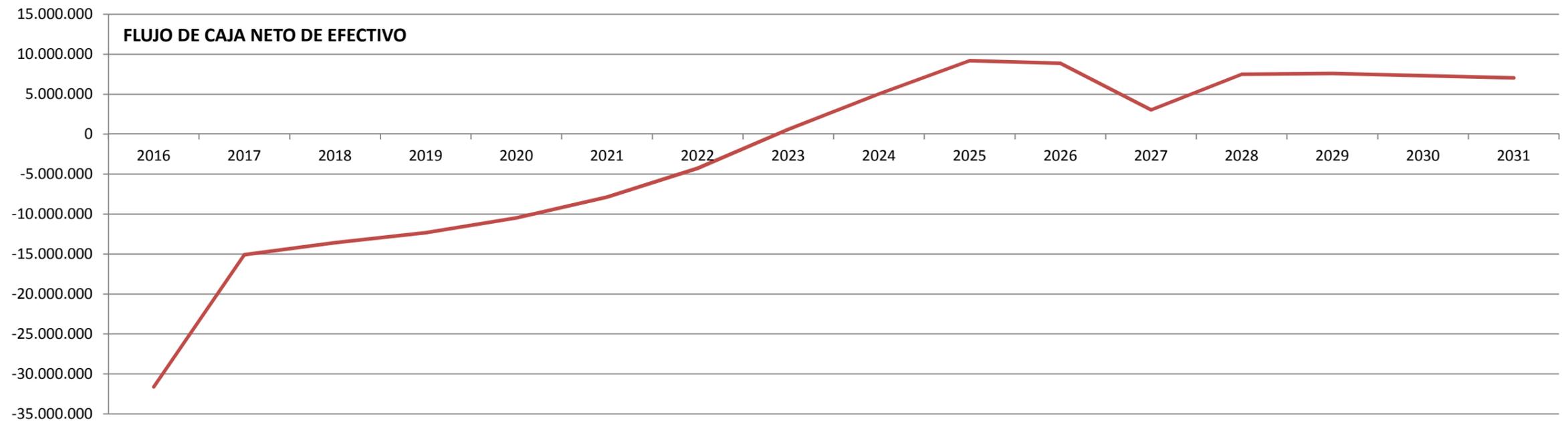
FLUJO DE FONDOS 1 - CASO I

CASO II	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	PREPETUIDAD
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Carbono Equivalente (Tn)	0,00	186.638,00	361.991,00	526.850,00	681.952,00	827.983,00	965.582,00	1.095.346,00	1.217.827,00	1.333.542,00	1.442.972,00	1.546.564,00	1.644.736,00	1.737.876,00	1.826.345,00	1.910.480,00	
Potencia instalada (MW)	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	69,59	
FUNCIONAMIENTO	10%	13%	17%	22%	29%	37%	48%	63%	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
SITUACIÓN INICIAL	0	-37.111.592	-16.386.801	-16.497.750	-14.637.152	-11.807.643	-7.743.646	-964.065	4.028.436	10.726.443	17.300.498	16.808.405	10.838.242	15.147.638	15.125.151	14.727.885	
INGRESOS (U\$D)																	
INGRESOS POR MWH	0	9.823.976	10.216.935	13.282.015	17.266.619	22.446.605	29.180.587	37.934.763	49.315.192	60.455.234	60.455.234	60.455.234	60.455.234	60.455.234	60.455.234	60.455.234	
INGRESOS POR CERS	0	1.644.281	3.189.141	4.641.549	6.007.997	7.294.530	8.506.777	9.649.998	10.729.056	11.748.505	12.712.583	13.625.229	14.490.124	15.310.688	16.090.099	16.831.329	
INGRESOS POR RECICLADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SUBTOTAL INGRESOS (SIN IMPUESTOS)	0	11.468.256	13.406.075	17.923.563	23.274.617	29.741.136	37.687.364	47.584.761	60.044.248	72.203.739	73.167.818	74.080.463	74.945.359	75.765.922	76.545.334	77.286.563	
EGRESOS																	
INSTALACIONES DE CAPTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN	14.400.602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.917.468	0	0	0	0	
TRATAMIENTO DE RESIDUOS	0	2.907.820	5.639.820	8.208.323	10.624.812	12.899.975	15.043.768	17.065.491	18.973.745	20.776.584	22.481.504	24.095.467	25.624.987	27.076.108	28.454.455	29.765.278	
OPERACIÓN/MANTENIMIENTO, GENERACIÓN ENERGÍA	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	11.581.930	
MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	3.401.430	
MITO. SIST. DE TRANSMISIÓN DE MEDIANO VOLTAJE	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	
GASTOS ADMINISTRATIVOS	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	
IMPUESTOS(IB + IMP DEB + IMP CRED)	0	229.365	268.122	358.471	465.492	594.823	753.747	951.695	1.200.885	1.444.075	1.463.356	1.481.609	1.498.907	1.515.318	1.530.907	1.545.731	
CUOTA DEL BID	0	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	1.593.542	1.593.542	1.593.542	1.593.542	1.593.542	
TOTAL DE EGRESOS	37.111.592	26.827.245	29.598.001	32.256.854	34.780.364	37.184.857	39.487.574	41.707.245	43.864.689	45.910.718	47.634.919	57.799.076	51.428.426	52.895.959	54.289.894	55.615.542	
EBITDA	-37.111.592	-15.358.988	-16.191.925	-14.333.290	-11.505.747	-7.443.722	-1.800.210	5.877.516	16.179.559	26.293.021	25.532.898	16.281.387	23.516.932	22.869.963	22.255.440	21.671.021	
AMORTIZACIÓN	0	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
IMPUESTO A LAS GANANCIAS	0	0	0	0	0	0	-1.134.094	1.553.110	5.158.825	8.698.536	8.432.493	5.144.263	7.676.704	7.450.264	7.235.181	7.030.635	
NOPAT	-37.111.592	-16.799.048	-17.631.985	-15.773.350	-12.945.807	-8.883.782	-2.106.175	2.884.346	9.580.674	16.154.424	15.660.345	9.553.631	14.256.735	13.836.205	13.436.765	13.056.893	
PAGO DE INTERESES DE PRESTAMO BID	0	30.417	27.404	24.385	21.359	18.327	15.289	12.244	9.661	9.192	6.135	16.723	13.393	10.055	6.710	3.358	
ESCUDO FISCAL	0	10.646	9.591	8.535	7.476	6.414	5.351	4.285	3.381	3.217	2.147	5.853	4.688	3.519	2.349	1.175	
INGRESO NETO	-37.111.592	-16.818.819	-17.649.798	-15.789.201	-12.959.691	-8.895.694	-2.116.113	2.876.388	9.574.394	16.148.450	15.656.357	9.542.761	14.248.030	13.829.670	13.432.404	13.054.710	
SITUACIÓN FINAL	-37.111.592	-53.930.411	-34.036.599	-32.286.950	-27.596.843	-20.703.337	-9.859.760	1.912.323	13.602.830	26.874.892	32.956.855	26.351.166	25.086.272	28.977.308	28.557.555	27.782.596	
AMORTIZACIÓN		1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
MANTENIMIENTO DE CAPITAL DE TRABAJO		288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	
GASTOS EN CAPITAL		720.030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	395.873	0	0	0	
FLUJO DE CAJA NETO DE EFECTIVO	-37.111.592	-16.386.801	-16.497.750	-14.637.152	-11.807.643	-7.743.646	-964.065	4.028.436	10.726.443	17.300.498	16.808.405	10.838.242	15.147.638	15.125.151	14.727.885	14.350.192	284.734.783



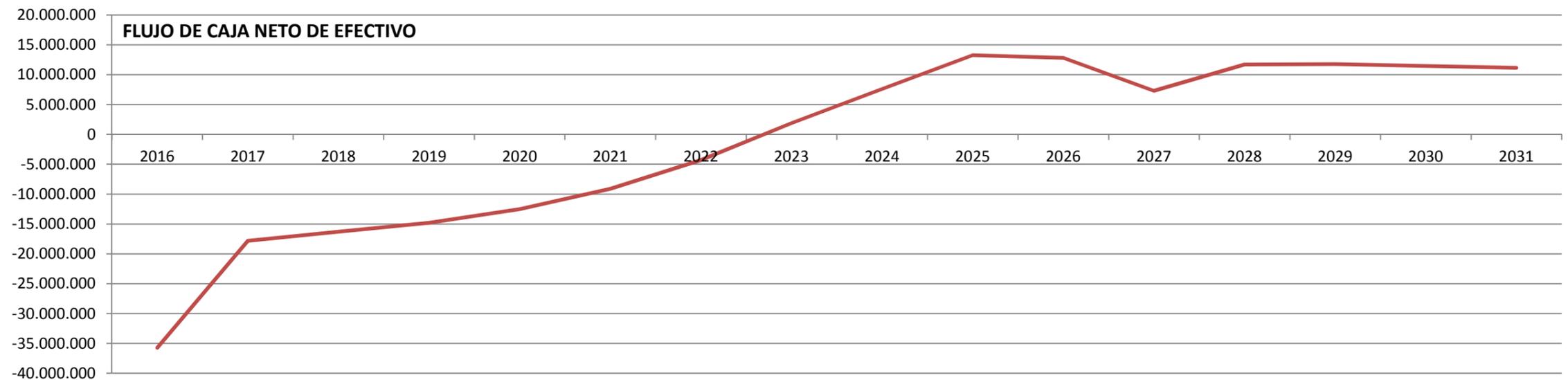
FLUJO DE FONDOS 2 - CASO II

CASO III	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	PREPETUIDAD
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Carbono Equivalente (Tn)	0,00	103.198,00	202.328,00	297.594,00	389.187,00	477.292,00	562.082,00	643.725,00	722.378,00	798.193,00	871.313,00	941.876,00	1.010.011,00	1.075.844,00	1.139.492,00	1.201.068,00	
Potencia instalada (MW)	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	44,13	
FUNCIONAMIENTO	10%	13%	17%	22%	29%	37%	48%	63%	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
SITUACIÓN INICIAL	0	-31.630.145	-15.068.928	-13.570.216	-12.325.101	-10.483.001	-7.873.762	-4.275.714	599.712	5.034.071	9.192.231	8.864.079	3.043.043	7.488.057	7.588.862	7.303.663	
INGRESOS (USD)																	
INGRESOS POR MWH	0	4.984.012	6.479.216	8.422.981	10.949.875	14.234.838	18.505.289	24.056.875	31.273.938	38.338.556	38.338.556	38.338.556	38.338.556	38.338.556	38.338.556	38.338.556	
INGRESOS POR CERS	0	909.174	1.782.510	2.621.803	3.428.737	4.204.943	4.951.942	5.671.217	6.364.150	7.032.080	7.676.268	8.297.928	8.898.197	9.478.186	10.038.925	10.581.409	
INGRESOS POR RECICLADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SUBTOTAL INGRESOS (SIN IMPUESTOS)	0	5.893.187	8.261.726	11.044.784	14.378.613	18.439.780	23.457.231	29.728.093	37.638.088	45.370.637	46.014.824	46.636.484	47.236.753	47.816.742	48.377.481	48.919.965	
EGRESOS																	
INSTALACIONES DE CAPTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN	14.400.602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.917.468	0	0	0	0	
TRATAMIENTO DE RESIDUOS	0	1.607.825	3.152.270	4.636.515	6.063.533	7.436.209	8.757.238	10.029.236	11.254.649	12.435.847	13.575.057	14.674.428	15.735.971	16.761.650	17.753.285	18.712.639	
OPERACIÓN/MANTENIMIENTO, GENERACIÓN ENERGÍA	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	7.344.847	
MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	2.157.066	
MITO. SIST. DE TRANSMISIÓN DE MEDIANO VOLTAJE	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	822.369	
GASTOS ADMINISTRATIVOS	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	
IMPUESTOS (IB + IMP DEB + IMP CRED)	0	117.864	165.235	220.896	287.572	368.796	469.145	594.562	752.762	907.413	920.296	932.730	944.735	956.335	967.550	978.399	
CUOTA DEL BID	0	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	979.069	1.593.542	1.593.542	1.593.542	1.593.542	1.593.542	
TOTAL DE EGRESOS	31.630.145	19.934.301	21.526.117	23.066.023	24.559.718	26.013.618	27.434.995	28.832.410	30.216.024	31.551.872	32.703.966	42.347.711	35.503.792	36.541.070	37.543.920	38.514.124	
EBITDA	-31.630.145	-14.041.115	-13.264.392	-12.021.239	-10.181.106	-7.573.838	-3.977.764	895.683	7.422.065	13.818.764	13.310.858	4.288.773	11.732.961	11.275.672	10.833.560	10.405.841	
AMORTIZACIÓN	0	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
IMPUESTO A LAS GANANCIAS	0	0	0	0	0	0	0	0	2.093.702	4.332.546	4.154.779	946.848	3.552.314	3.392.262	3.237.523	3.087.822	
NOPAT	-31.630.145	-15.481.175	-14.704.452	-13.461.299	-11.621.166	-9.013.898	-5.417.824	-544.378	3.888.303	8.046.158	7.716.019	1.758.432	6.597.154	6.299.916	6.012.543	5.734.526	
PAGO DE INTERESES DE PRESTAMO BID	0	30.417	27.404	24.385	21.359	18.327	15.289	12.244	9.661	6.135	3.135	16.723	13.393	10.055	6.710	3.358	
ESCUDO FISCAL	0	10.646	9.591	8.535	7.476	6.414	5.351	4.285	3.381	2.217	1.147	5.853	4.688	3.519	2.349	1.175	
INGRESO NETO	-31.630.145	-15.500.946	-14.722.265	-13.477.149	-11.635.049	-9.025.810	-5.427.762	-552.336	3.882.023	8.040.183	7.712.031	1.747.562	6.588.449	6.293.380	6.008.182	5.732.343	
SITUACIÓN FINAL	-31.630.145	-47.131.091	-29.791.192	-27.047.366	-23.960.151	-19.508.812	-13.301.524	-4.828.050	4.481.735	13.074.254	16.904.262	10.611.641	9.631.492	13.781.437	13.597.044	13.036.007	
AMORTIZACIÓN	0	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
MANTENIMIENTO DE CAPITAL DE TRABAJO	0	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	
GASTOS EN CAPITAL	0	720.030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	395.873	0	0	0	
FLUJO DE CAJA NETO DE EFECTIVO	-31.630.145	-15.068.928	-13.570.216	-12.325.101	-10.483.001	-7.873.762	-4.275.714	599.712	5.034.071	9.192.231	8.864.079	3.043.043	7.488.057	7.588.862	7.303.663	7.027.825	179.362.117



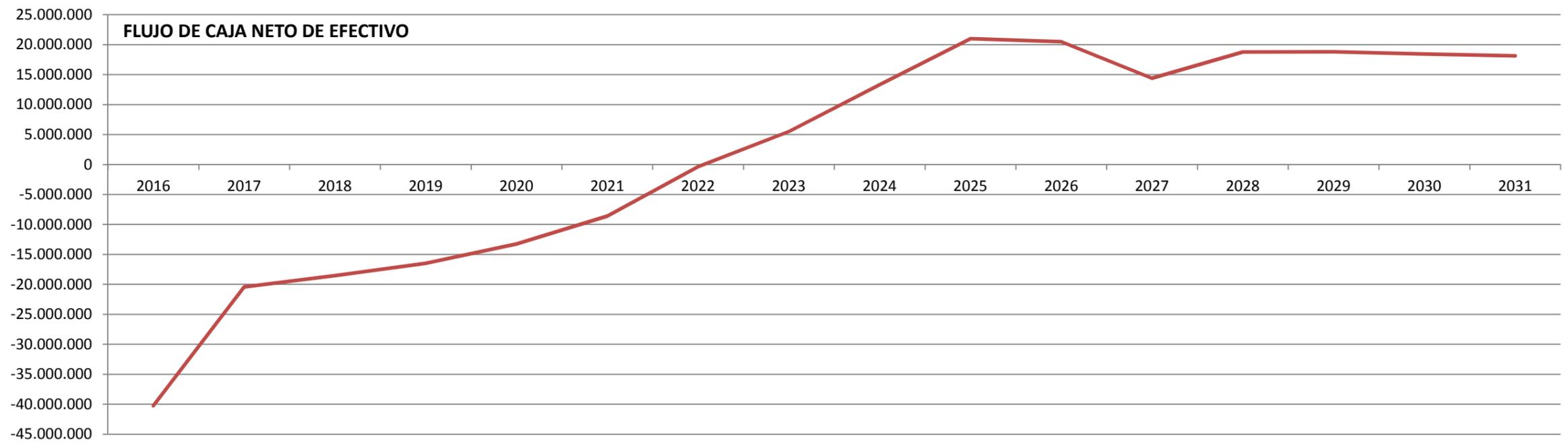
FLUJO DE FONDOS 3 - CASO III

CASO IV	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	PREPETUIDAD
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Carbano Equivalente (Tn)	0,00	181.476,91	351.760,26	511.648,40	661.883,80	803.156,92	926.146,72	1.042.028,15	1.151.312,78	1.254.476,44	1.351.961,66	1.433.787,34	1.511.370,06	1.585.020,17	1.655.026,40	1.721.657,30	
Potencia instalada (MW)	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	59,79	
FUNCIONAMIENTO	10%	13%	17%	22%	29%	37%	48%	63%	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
SITUACIÓN INICIAL	0	-35.735.298	-17.804.216	-16.279.679	-14.807.378	-12.493.767	-9.111.366	-4.293.466	1.878.945	7.616.249	13.249.629	12.811.573	7.296.570	11.698.926	11.764.436	11.450.529	
INGRESOS (USD)																	
INGRESOS POR MW/H	0	6.752.627	8.778.415	11.411.939	14.835.521	19.286.177	25.072.031	32.593.640	42.371.732	51.943.283	51.943.283	51.943.283	51.943.283	51.943.283	51.943.283	51.943.283	
INGRESOS POR CERS	0	1.598.812	3.099.008	4.507.622	5.831.196	7.075.812	8.159.353	9.180.268	10.143.066	11.051.937	11.910.782	12.631.667	13.315.170	13.964.028	14.580.783	15.167.801	
INGRESOS POR RECICLADO	996.680	1.005.101	1.013.641	1.022.247	1.030.906	2.079.266	2.096.920	2.114.673	2.132.606	2.150.684	3.253.373	3.280.970	3.308.777	3.336.825	3.365.079	4.524.837	
SUBTOTAL INGRESOS (SIN IMPUESTOS)	0	8.351.438	11.877.423	15.919.562	20.666.717	26.361.990	33.231.383	41.773.908	52.514.797	62.995.220	63.854.065	64.574.949	65.258.453	65.907.311	66.524.066	67.111.084	
EGRESOS																	
INSTALACIONES DE CAPTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN	14.400.602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.917.468	0	0	0	0	
INSTALACIONES DE SEPARACIÓN	733.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TRATAMIENTO DE RESIDUOS	0	2.827.410	5.480.425	7.971.482	10.312.150	12.513.185	14.429.366	16.234.799	17.937.453	19.544.743	21.063.563	22.338.407	23.547.145	24.694.614	25.785.311	26.823.421	
OPERACIÓN/MANTENIMIENTO, GENERACIÓN ENERGÍA	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	9.951.222	
MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	2.922.517	
MITO. SIST. DE TRANSMISIÓN DE MEDIANO VOLTAJE	822.363	822.364	822.365	822.366	822.367	822.368	822.369	822.370	822.371	822.372	822.373	822.374	822.375	822.376	822.377	822.378	
GASTOS ADMINISTRATIVOS	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	
IMPUESTOS(IB + IMP DEB + IMP CRED)	0	167.029	237.548	318.391	413.334	527.240	664.628	835.478	1.050.296	1.259.904	1.277.081	1.291.499	1.305.169	1.318.146	1.330.481	1.342.222	
CUOTA DEL BID	0	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	
TOTAL DE EGRESOS	35.735.298	25.126.834	27.850.369	30.422.271	32.857.882	35.172.824	37.226.394	39.202.678	41.120.151	42.937.051	44.473.048	53.742.290	47.047.232	48.207.679	49.310.712	50.360.563	
EBITDA	-35.735.298	-16.775.396	-15.972.947	-14.502.709	-12.191.165	-8.810.834	-3.995.011	2.571.230	11.394.646	20.058.170	19.381.017	10.832.660	18.211.221	17.699.632	17.213.354	16.750.521	
AMORTIZACIÓN	0	1.513.394	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
IMPUESTO A LAS GANANCIAS	0							395.909	3.484.105	6.516.338	6.279.335	3.237.208	5.819.705	5.640.648	5.470.451	5.308.460	
NOPAT	-35.735.298	-18.288.789	-17.413.007	-15.942.769	-13.631.225	-10.250.894	-5.435.071	735.260	6.470.481	12.101.771	11.661.622	6.011.958	10.808.023	10.475.490	10.159.409	9.858.568	
PAGO DE INTERESES DE PRESTAMO BID	0	31.966	28.800	25.627	22.447	19.261	16.067	12.867	9.661	6.447	3.227	16.723	13.393	10.055	6.710	3.358	
ESCUDO FISCAL	0	11.188	10.080	8.969	7.856	6.741	5.623	4.503	3.381	2.256	1.129	5.853	4.688	3.519	2.349	1.175	
INGRESO NETO	-35.735.298	-18.309.567	-17.431.727	-15.959.427	-13.645.815	-10.263.414	-5.445.514	726.897	6.464.201	12.097.581	11.659.524	6.001.088	10.799.318	10.468.954	10.155.048	9.856.385	
SITUACIÓN FINAL	-35.735.298	-54.044.865	-35.235.943	-32.239.105	-28.453.194	-22.757.181	-14.556.880	-3.566.569	8.343.146	19.713.830	24.909.153	18.812.661	18.095.887	22.167.880	21.919.483	21.306.914	
AMORTIZACIÓN	0	1.513.394	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.440.060	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
MANTENIMIENTO DE CAPITAL DE TRABAJO	0	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	
GASTOS EN CAPITAL	0	720.030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	395.873	0	0	0	
FLUJO DE CAJA NETO DE EFECTIVO	-35.735.298	-17.804.216	-16.279.679	-14.807.378	-12.493.767	-9.111.366	-4.293.466	1.878.945	7.616.249	13.249.629	12.811.573	7.296.570	11.698.926	11.764.436	11.450.529	11.151.867	238.709.223



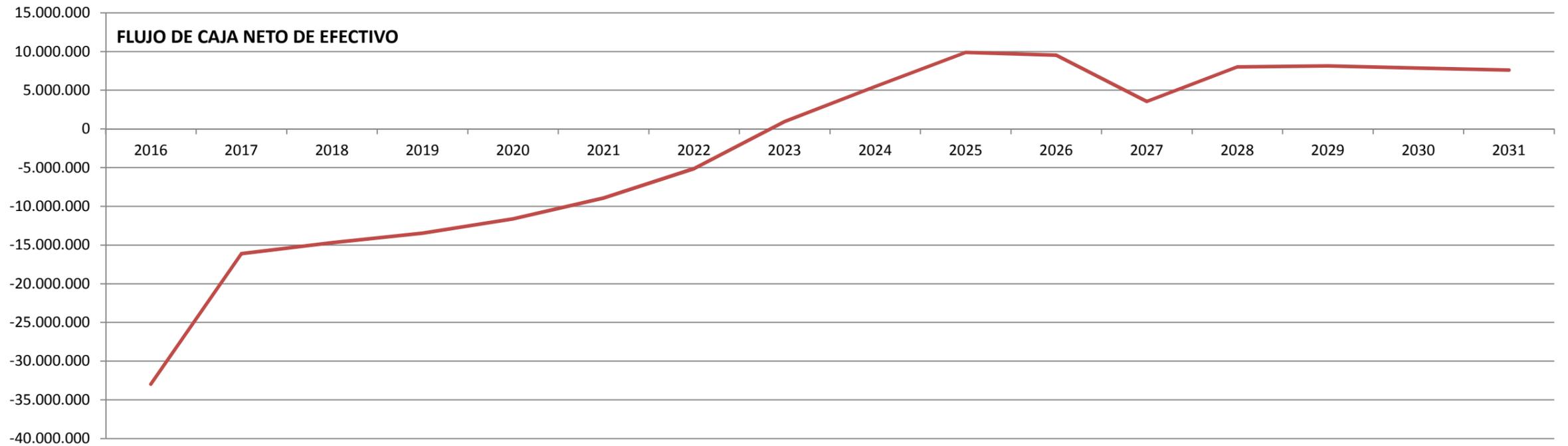
FLUJO DE FONDOS 4 - CASO IV

CASO V	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	PREPETUIDAD
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Carbono Equivalente (Tn)	0,00	239.507,49	461.217,18	666.619,71	857.082,46	1.033.859,77	1.184.953,16	1.325.544,37	1.456.519,86	1.578.692,84	1.692.809,34	1.785.837,81	1.873.141,36	1.955.210,70	2.032.496,05	2.105.410,51	
Potencia instalada (MW)	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	80,84	
FUNCIONAMIENTO	10%	13%	17%	22%	29%	37%	48%	63%	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
SITUACIÓN INICIAL	0	-40.268.204	-20.410.134	-18.543.790	-16.478.911	-13.263.376	-8.591.838	-352.986	5.492.613	13.325.118	21.019.481	20.506.334	14.417.594	18.776.060	18.803.557	18.456.785	
INGRESOS (USD)																	
INGRESOS POR MWH	0	9.130.259	11.869.337	15.430.138	20.059.180	26.076.934	33.900.014	44.070.018	57.291.024	70.232.765	70.232.765	70.232.765	70.232.765	70.232.765	70.232.765	70.232.765	
INGRESOS POR CERS	0	2.110.061	4.063.323	5.872.920	7.550.896	9.108.305	10.439.437	11.678.046	12.831.940	13.908.284	14.913.650	15.733.231	16.502.375	17.225.406	17.906.290	18.548.667	
INGRESOS POR RECICLADO	996.443	1.004.922	1.013.434	1.022.003	1.030.669	2.078.845	2.096.442	2.114.226	2.132.128	2.150.209	3.252.669	3.280.255	3.308.062	3.336.109	3.364.371	4.523.863	
SUBTOTAL INGRESOS (SIN IMPUESTOS)	0	11.240.320	15.932.661	21.303.058	27.610.076	35.185.239	44.339.452	55.748.064	70.122.964	84.141.049	85.146.415	85.965.996	86.735.140	87.458.171	88.139.055	88.781.432	
EGRESOS																	
INSTALACIONES DE CAPTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN	14.400.602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.917.468	0	0	0	0
INSTALACIONES DE SEPARACIÓN	733.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TRATAMIENTO DE RESIDUOS	0	3.731.527	7.185.764	10.385.935	13.353.345	16.107.535	18.461.570	20.651.981	22.692.579	24.596.034	26.373.970	27.823.353	29.183.542	30.462.183	31.666.288	32.802.296	
OPERACIÓN/MANTENIMIENTO, GENERACIÓN ENERGÍA	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	13.455.095	
MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	3.951.549	
MITO. SIST. DE TRANSMISIÓN DE MEDIANO VOLTAJE	822.363	822.364	822.365	822.366	822.367	822.368	822.369	822.370	822.371	822.372	822.373	822.374	822.375	822.376	822.377	822.378	
GASTOS ADMINISTRATIVOS	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	
IMPUESTOS(IB + IMP DEB + IMP CRED)	0	224.806	318.653	426.061	552.202	703.705	886.789	1.114.961	1.402.459	1.682.821	1.702.928	1.719.320	1.734.703	1.749.163	1.762.781	1.775.629	
CUOTA DEL BID	0	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
TOTAL DE EGRESOS	40.268.204	30.621.634	34.169.719	37.477.299	40.570.850	43.476.545	46.013.665	48.432.250	50.760.347	52.944.164	54.742.208	64.177.914	57.636.020	58.929.122	60.146.846	61.295.702	
EBITDA	-40.268.204	-19.381.314	-18.237.058	-16.174.241	-12.960.774	-8.291.306	-1.674.214	7.315.815	19.362.617	31.196.884	30.404.207	21.788.082	29.099.121	28.529.050	27.992.209	27.485.730	
AMORTIZACIÓN	0	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
IMPUESTO A LAS GANANCIAS	0	0	0	0	0	0	-1.619.684	1.526.826	5.743.207	9.885.201	9.607.764	7.071.606	9.630.469	9.430.945	9.243.050	9.065.783	
NOPAT	-40.268.204	-22.334.767	-21.190.512	-19.127.695	-15.914.227	-11.244.760	-3.007.984	2.835.535	10.665.956	18.358.230	17.842.990	13.132.982	17.885.158	17.514.611	17.165.665	16.836.454	
PAGO DE INTERESES DE PRESTAMO BID	0	31.966	28.800	25.627	22.447	19.261	16.067	12.867	9.661	6.447	3.227	16.723	13.393	10.055	6.710	3.358	
ESCUDO FISCAL	0	11.188	10.080	8.969	7.856	6.741	5.623	4.503	3.381	2.256	1.129	5.853	4.688	3.519	2.349	1.175	
INGRESO NETO	-40.268.204	-22.355.545	-21.209.232	-19.144.352	-15.928.818	-11.257.280	-3.018.427	2.827.171	10.659.677	18.354.039	17.840.892	13.122.113	17.876.452	17.508.076	17.161.304	16.834.271	
SITUACIÓN FINAL	-40.268.204	-62.623.749	-41.619.366	-37.688.143	-32.407.729	-24.520.656	-11.610.265	2.474.185	16.152.289	31.679.158	38.860.373	33.628.447	32.294.046	36.284.136	35.964.861	35.291.056	
AMORTIZACIÓN	0	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
MANTENIMIENTO DE CAPITAL DE TRABAJO	0	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	
GASTOS EN CAPITAL	0	720.030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	395.873	0	0	0	
FLUJO DE CAJA NETO DE EFECTIVO	-40.268.204	-20.410.134	-18.543.790	-16.478.911	-13.263.376	-8.591.838	-352.986	5.492.613	13.325.118	21.019.481	20.506.334	14.417.594	18.776.060	18.803.557	18.456.785	18.129.752	339.124.619



FLUJO DE FONDOS 5 - CASO V

CASO VI	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	PREPETUIDAD
PERIODO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Carbón Equivalente (Tn)	0,00	130.217,77	254.075,29	371.946,50	484.183,97	591.120,15	685.919,47	776.375,73	862.747,12	945.277,12	1.024.195,32	1.092.261,01	1.157.499,82	1.220.082,92	1.280.171,71	1.337.918,44	
Potencia instalada (MW)	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	47,01	
FUNCIONAMIENTO	10%	13%	17%	22%	29%	37%	48%	63%	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	
SITUACIÓN INICIAL	0	-32.982.722	-16.110.509	-14.687.966	-13.475.629	-11.615.443	-8.927.107	-5.125.741	958.013	5.467.005	9.889.910	9.535.684	3.559.652	8.017.741	8.133.219	7.864.090	
INGRESOS (USD)																	
INGRESOS POR MW/H	0	5.308.826	6.901.473	8.971.915	11.663.490	15.162.537	19.711.298	25.624.688	33.312.094	40.837.121	40.837.121	40.837.121	40.837.121	40.837.121	40.837.121	40.837.121	
INGRESOS POR CERS	0	1.147.219	2.238.403	3.276.849	4.265.661	5.207.769	6.042.951	6.839.870	7.600.802	8.327.891	9.023.161	9.622.819	10.197.573	10.748.931	11.278.313	11.787.061	
INGRESOS POR RECICLADO	1.012.042	1.020.611	1.029.275	1.037.998	1.046.814	2.111.345	2.129.248	2.147.298	2.165.502	2.183.861	3.303.548	3.331.569	3.359.823	3.388.301	3.416.989	4.594.617	
SUBTOTAL INGRESOS (SIN IMPUESTOS)	0	6.456.044	9.139.877	12.248.764	15.929.151	20.370.306	25.754.249	32.464.558	40.912.896	49.165.012	49.860.282	50.459.940	51.034.694	51.586.051	52.115.434	52.624.182	
EGRESOS																	
INSTALACIONES DE CAPTACIÓN Y TRANSFORMACIÓN	14.400.602	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7.917.468	0	0	0	
INSTALACIONES DE SEPARACIÓN	733.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TRATAMIENTO DE RESIDUOS	0	2.028.793	3.958.493	5.794.927	7.543.586	9.209.652	10.686.625	12.095.934	13.441.600	14.727.418	15.956.963	17.017.426	18.033.847	19.008.892	19.945.075	20.844.769	
OPERACIÓN/MANTENIMIENTO, GENERACIÓN ENERGÍA	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	7.823.519	
MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	5.772.117	
CONSUMO DE ELECTRICIDAD	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	2.297.644	
MITO. SIST. DE TRANSMISIÓN DE MEDIANO VOLTAJE	822.363	822.364	822.365	822.366	822.367	822.368	822.369	822.370	822.371	822.372	822.373	822.374	822.375	822.376	822.377	822.378	
GASTOS ADMINISTRATIVOS	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	1.133.145	
IMPUESTOS(IB + IMP DEB + IMP CRED)	0	129.121	182.798	244.975	318.583	407.406	515.085	649.291	818.258	983.300	997.206	1.009.199	1.020.694	1.031.721	1.042.309	1.052.484	
CUOTA DEL BID	0	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.531.031	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
TOTAL DE EGRESOS	32.982.722	21.537.733	23.521.111	25.419.723	27.241.992	28.996.881	30.581.535	32.125.050	33.639.684	35.090.545	36.333.997	45.376.385	38.486.834	39.472.907	40.419.679	41.329.549	
EBITDA	-32.982.722	-15.081.689	-14.381.234	-13.170.959	-11.312.841	-8.626.576	-4.827.286	339.508	7.273.212	14.074.467	13.526.285	5.083.556	12.547.860	12.113.145	11.695.755	11.294.634	
AMORTIZACIÓN	0	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
IMPUESTO A LAS GANANCIAS	0	0	0	0	0	0	0	-914.881	1.511.915	3.892.355	3.700.491	1.225.022	3.837.528	3.685.378	3.539.291	3.398.899	
NOPAT	-32.982.722	-18.035.142	-17.334.688	-16.124.413	-14.266.294	-11.580.029	-7.780.740	-1.699.065	2.807.843	7.228.659	6.872.340	2.275.040	7.126.838	6.844.273	6.572.970	6.312.241	
PAGO DE INTERESES DE PRESTAMO BID	0	31.966	28.800	25.627	22.447	19.261	16.067	12.867	9.661	6.447	3.227	16.723	13.393	10.055	6.710	3.358	
ESCUDO FISCAL	0	11.188	10.080	8.969	7.856	6.741	5.623	4.503	3.381	2.256	1.129	5.853	4.688	3.519	2.349	1.175	
INGRESO NETO	-32.982.722	-18.055.920	-17.353.408	-16.141.070	-14.280.885	-11.592.549	-7.791.183	-1.707.429	2.801.563	7.224.468	6.870.243	2.264.170	7.118.133	6.837.738	6.568.608	6.310.058	
SITUACIÓN FINAL	-32.982.722	-51.038.643	-33.463.917	-30.829.036	-27.756.514	-23.207.992	-16.718.290	-6.833.170	3.759.576	12.691.473	16.760.152	11.799.855	10.677.785	14.855.479	14.701.827	14.174.148	
AMORTIZACIÓN	0	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	2.953.454	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	1.583.494	
MANTENIMIENTO DE CAPITAL DE TRABAJO	0	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	288.012	
GASTOS EN CAPITAL	0	720.030	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	395.873	0	0	0	
FLUJO DE CAJA NETO DE EFECTIVO	-32.982.722	-16.110.509	-14.687.966	-13.475.629	-11.615.443	-8.927.107	-5.125.741	958.013	5.467.005	9.889.910	9.535.684	3.559.652	8.017.741	8.133.219	7.864.090	7.605.540	187.675.738



FLUJO DE FONDOS 6 - CASO V

8.5 - CONCLUSIONES - ANALISIS DE RESULTADOS

De los Flujos de fondos proyectados se desprenden los siguientes indicadores financieros (Tabla 8. 3).

Tabla 8. 3 - indicadores Financieros (CASOS I al VI)

CASO	INVERSIÓN			WACC	VAN	TIR	RBC
	TOTAL	BID 60%	PRIVADOS 40%				
I	14.400.602	8.640.361	5.760.241	9,088%	\$ 3.593.568	9,44%	0,99
II				9,088%	\$ 24.721.162	11,21%	1,05
III				9,088%	\$ -15.706.909	7,27%	0,93
IV	15.133.935	9.080.361	6.053.574	9,088%	\$ -1.682.070	8,93%	0,98
V				9,088%	\$ 38.357.219	11,92%	1,06
VI				9,088%	\$ -17.864.397	7,13%	0,92

Desde el punto de vista financiero, referido a las obligaciones con los inversionistas, se podría descartar a priori la viabilidad de los casos III, IV y VI, ya que presentan una VAN (valor actualizado neto de capital) negativa. Esta circunstancia evidencia que no se podrán cumplir las obligaciones de devolución de préstamo al Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y/o a los inversionistas privados.

Del mismo modo, el valor calculado de la Tasa Interna de Retorno (TIR) para los escenarios citados en el párrafo anterior es sensiblemente menor que la tasa de descuento considerada que cubra justamente las obligaciones mencionadas.

Por el contrario, los casos I, II y V, presentan un panorama completamente distinto. Las VAN calculadas representan una capitalización favorable y la TIR de cada uno indica que los intereses de los inversionistas, en cualquiera de estos tres casos, serán satisfechas.

En cuanto al indicador de Relación Beneficio/Costo (RBC), también llamado "índice de rendimiento", se basa en el del "Valor Actual Neto", y que consiste en dividir el Valor Presente de los Ingresos entre el Valor Presente de los egresos. Si este Índice es mayor que 1 se acepta el proyecto; si es inferior que 1 no se acepta, ya que significa que la Rentabilidad del proyecto es inferior al Costo del Capital.

Por consiguiente, los escenarios II y V, representan una rentabilidad del capital invertido más favorable.

Cabe recordar que estos últimos casos citados (II y V), son idénticos en la "composición de residuos planteada" y difieren en la gestión de recuperación de fracciones inorgánicas previa a la disposición final, la cual no aplica en el primero de los dos.

Queda cuantitativamente definida la ventaja comparativa de segregar previamente los residuos al depositarlos. Contabilizando un beneficio diferencial neto de U\$D 13.636.057 para el caso V respecto del II.

8.6 - ANALISIS DE VARIACIONES FINANCIERAS DEL PROYECTO

8.6.1 – DESCRIPCIÓN

En esta sección, se analiza el impacto de la variación en variables claves que intervienen en el estudio financiero planteado.

Se analiza y compara por un lado una variación en la TASA de interés de financiamiento internacional, la cual se toma en consideración con los valores de toma de deuda internacional actual para la Republica argentina. Este valor asciende a un 7% en U\$D.

Por otro lado se analiza y compara una mejora en el supuesto planteado de “puesta en marcha” de las instalaciones de transformación eléctrica. Como bien se describe precedentemente en este capítulo, se ha planteado que el estado de régimen del 100% de la potencia instalada se alcanza de manera creciente exponencial en el lapso de 10 años (ver figura 8. 4)

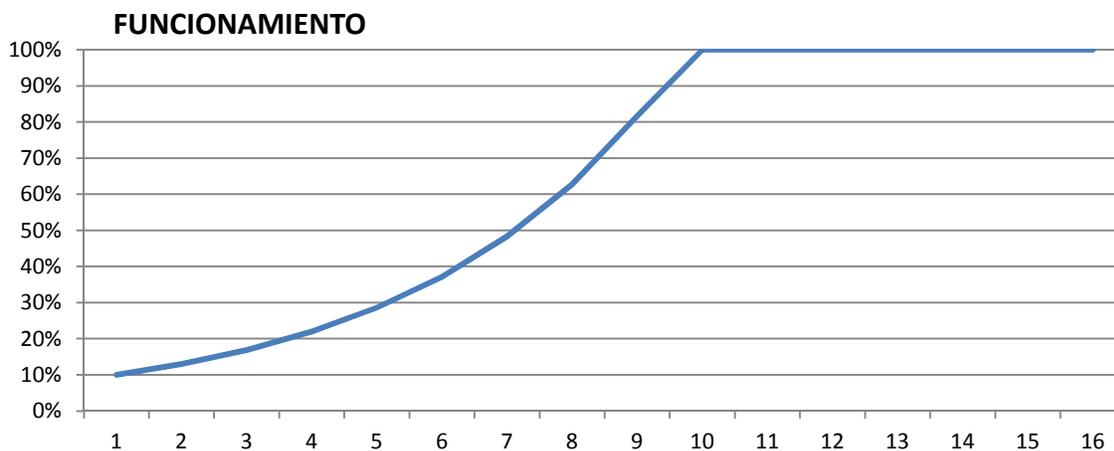


Figura 8. 4 - Estado de Régimen de Funcionamiento

8.6.2 - VARIACIÓN DE LA TASA INTERNACIONAL (BID)

Un cambio en la tasa del BID, de 2,5% a un 7% en U\$D, impacta directamente en el cálculo de la tasa WACC, siendo esta última calculada de la siguiente forma:

$$WACC_2 = [60\% (7,0\%) + 40\% (18,97\%)] / 2$$

$$WACC_2 = 11,79\%$$

Se obtiene entonces una tasa WACC 2,70 puntos superiores a la analizada previamente ($WACC_1 = 9,088\%$). Se muestran en la siguiente () los indicadores financieros obtenidos con esta nueva tasa (ver Tabla 8. 5).

CASO	INVERSIÓN			WACC ₂	VAN	TIR	RBC
	TOTAL	BID 60%	PRIVADOS 40%				
I	14.400.602	8.640.361	5.760.241	11,79%	\$ -30.107.996	7,7423%	0,96
II				11,79%	\$ -18.661.612	9,5889%	0,98
III				11,79%	\$ -40.249.748	5,4536%	0,89
IV	15.133.935	9.080.361	6.053.574	11,79%	\$ -36.115.986	7,2066%	0,94
V				11,79%	\$ -14.179.692	10,3445%	0,99
VI				11,79%	\$ -43.540.968	5,3277%	0,88

Tabla 8. 5 - RESULTADOS FINANCIEROS WACC = 11,79%

Como se observa claramente en los resultados obtenidos, una variación de 2,7 puntos por encima de la tasa estimada en la sección 8.3.2, haría inviable cualquiera de las alternativas desde el punto de vista financiero.

Esta es la razón por la cual existe poca proliferación de este tipo de proyectos de inversión, y es la razón principal por la cual el Banco Interamericano de Desarrollo ha adoptado líneas de financiamiento exclusivas para proyectos de energía verde, el cual es el marco que da origen a este proyecto de investigación proveniente de vertederos de residuos sólidos urbanos

8.6.3 – VARIACIÓN EN EL TIEMPO DE ALCANCE DE ESTADO DE RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO

Conservando en un primer lugar la variación planteada en la sección anterior (tasa BID=7% U\$D; WACC=11,79%), se analiza como alternativa complementaria, la variación en la eficiencia de transformación eléctrica.

Se define un patrón alternativo de crecimiento en la puesta en marcha de las instalaciones de transformación eléctrica. Habiendo anteriormente definido un alcance en 10 años del 100% de la capacidad instalada para cada Planta (figura 8. 4), en esta sección se analiza un escenario ideal en donde el régimen de 100% se alcance al transcurrir 1 año del proyecto (ver figura 8. 5).

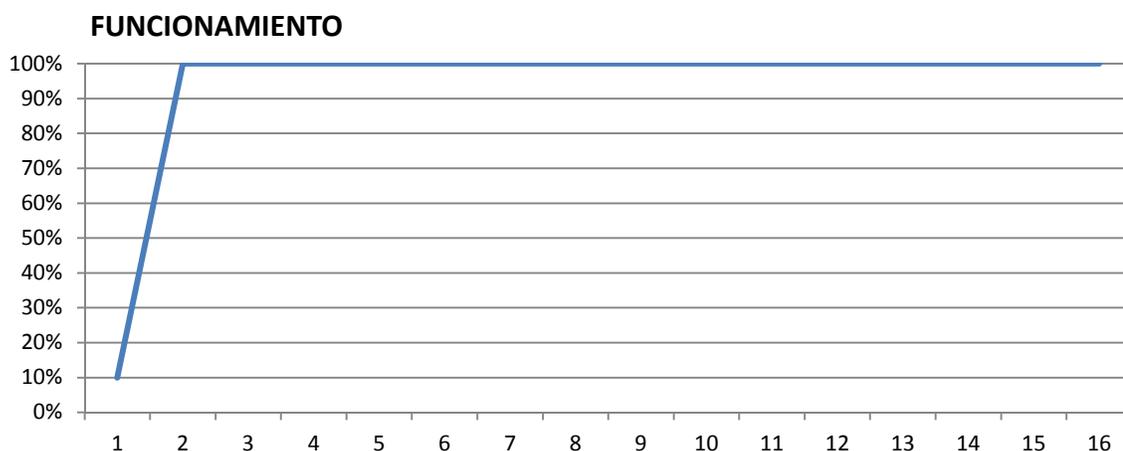


Figura 8. 5 - REGIMEN DE FUNCINAMIENTO ÓPTIMO

Se analiza a continuación el impacto de este cambio en los valores financieros del flujo de fondos de cada caso planteado (ver Tabla 8. 6).

CASO	INVERSIÓN			WACC ₂	VAN	TIR	RBC
	TOTAL	BID 60%	PRIVADOS 40%				
I	14.400.602	8.640.361	5.760.241	11,79%	\$ 3.593.568	9,4414%	0,99
II				11,79%	\$ 24.721.162	11,2108%	1,05
III				11,79%	\$ -15.706.909	7,2718%	0,93
IV	15.133.935	9.080.361	6.053.574	11,79%	\$ -1.682.070	8,9317%	0,98
V				11,79%	\$ 38.357.219	11,9296%	1,06
VI				11,79%	\$ -17.864.397	7,1386%	0,92

Tabla 8. 6- RESULTADOS FINANCIEROS (FUNCIONAMIENTO OPTIMO Y WACC = 11,79%)

De los valores obtenidos, se puede inferir la conveniencia de los casos II y V, los cuales en contraposición con los valores obtenidos con el crecimiento exponencial en 10 años del estado de régimen resultaban inviables todos los casos de estudio planteados.

Por último, se analizará el escenario financiero en donde:

-)] Tasa BID = 2,5% en U\$D; Tasa WACC = 9,088% en U\$D.
-)] Régimen de funcionamiento 100% alcanzado en 1 año.

En la siguiente Tabla 8. 7, se observan los resultados obtenidos;

CASO	INVERSIÓN			WACC ₁	VAN	TIR	RBC
	TOTAL	BID 60%	PRIVADOS 40%				
I	14.400.602	8.640.361	5.760.241	9,088%	\$ 167.263.951	69,7870%	1,63
II				9,088%	\$ 237.929.263	107,6342%	1,74
III				9,088%	\$ 118.712.316	52,8861%	1,52
IV	15.133.935	9.080.361	6.053.574	9,088%	\$ 176.826.659	70,2789%	1,59
V				9,088%	\$ 272.324.868	94,2580%	1,73
VI				9,088%	\$ 122.476.801	52,9514%	1,50

Tabla 8. 7 - RESULTADOS FINANCIEROS (FUNCIONAMIENTO OPTIMO Y WACC = 9,088%)

Como se observa de los resultados obtenidos, el proyecto maximiza los beneficios obtenidos al operar con las líneas de financiamiento especiales del BID, al 2,5 % en U\$D, y reduciendo al máximo el tiempo de puesta a punto de todo el sistema de transformación y transporte energético.

Habiendo definido y parametrizado las variables financieras clave del proyecto, se obtienen los márgenes entre los cuales de darán los resultados finales de los distintos casos de estudio planteados.

Cabe recalcar que, pese a ser un proyecto de inversión en el cual los financistas privados pretenden un lucro económico/financiero para invertir en el mismo, desde el punto de vista gubernamental se manejan otros indicadores o ponderaciones que escapan a los indicadores financieros expuestos.

8.6.4 – CONSIDERACIONES ADICIONALES

Ente los beneficios ocultos en los flujos de fondos planteados en este capítulo, se pueden destacar los siguientes como criterios de evaluación de interés público y soberano:

-) El valor económico residual en instalaciones amortizadas durante el proyecto.
-) El desarrollo social de puestos de trabajo para la provincia.
-) Las mejoras en la infraestructura eléctrica de toda la provincia.
-) Las mejoras en la infraestructura de la gestión de RSU.
-) El aumento del valor de las propiedades cercanas a vertederos.
-) El desarrollo cultural y educativo que conlleva la gestión del proyecto.
-) El valor del mejoramiento ambiental (aire, aguas, suelos, atmosfera, etc)

Los beneficios mencionados suelen ser determinantes a la hora de enmarcar un proyecto de inversión que involucre el desarrollo en varios aspectos de la sociedad en su conjunto.

CAPITULO 9: CONCLUSIONES GENERALES

9.1 - OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO:

El trabajo tiene por finalidad analizar el comportamiento a largo plazo de distintos casos de gestión de gases de efecto invernadero derivados de la descomposición de residuos, factibles de ser aplicados en la Provincia de Córdoba, en respuesta a la identificación de la oportunidad de mejora tanto del actual sistema integral de residuos sólidos de la provincia, como así también la infraestructura energética de la misma.

Se detallan a continuación los objetivos particulares que dieron respuesta al objetivo general del proyecto:

9.1.2 – OBJETIVOS PARTICUARES

- 1. Analizar los sistemas de gestión de residuos, determinar los aspectos importantes de una gestión integral de los mismos, analizar las características y propiedades de los residuos de la Provincia de Córdoba y determinar su relación o impacto en los distintos niveles de actuación.**

Para cumplir con este objetivo, se estudiaron en primera instancia los diferentes tipos de residuos existentes, dado que de sus características depende el sistema de tratamiento a utilizar. Luego se analizaron las características y propiedades de los residuos sólidos urbanos y como éstas impactan en la salud pública, en el ambiente, en la economía y el desarrollo urbano. Posteriormente se centró atención en los sistemas de tratamiento y disposición final, en especial el más frecuente: el vertido controlado.

Se determinó la importancia de un manejo apropiado de los residuos y su disposición final, como causa directa de enfermedades a las personas y animales que de forma directa o indirecta estén vinculadas al manejo de los mismos.

Luego de estudiar los impactos ambientales, se prestó especial atención al estudio en el impacto sobre la capa de ozono, o bien llamado “efecto invernadero”. Se determinó como a través de la descomposición de los residuos sólidos se inicia un proceso de descomposición anaeróbico, el cual, libera gases “de efecto invernadero” afectando el equilibrio del ecosistema.

- 2. Analizar el marco legal internacional, nacional y provincial vinculado a la gestión de residuos sólidos urbanos y a la polución de gases derivados del manejo de los mismos.**

Luego de analizar el marco legal que involucra a la gestión de residuos y se determinó que existe una ventaja jurídica muy provechosa para proyectos de reducción de emisiones de carbono. A nivel internacional el MDL se presenta como el mecanismo más relevante ya que la consecuencia directa de aquél será la modernización de nuestras instalaciones emisoras de GEI, la disminución de la contaminación y el consecuente aumento de la calidad de vida para sus habitantes.

A nivel nacional, Argentina, como país en desarrollo y con aproximadamente el 0,6 % del total de las emisiones mundiales, no estaba obligada a cumplir las metas cuantitativas fijadas por el Protocolo de Kioto. Pese a ello ratificó el acuerdo según Ley Nacional 25.438. También encontramos la ENGRISU (Estrategia Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos), la cual se puede resumir con un enfoque en la reducción y valorización de RSU.

Desde el punto de vista energético del proyecto, la Ley Nacional 26.190 - “Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica”, determina entre otras normativas, una contraprestación muy favorable para el desarrollo de proyectos de energías renovables.

- 3. Cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero durante los próximos 30 años derivados de la descomposición de residuos sólidos urbanos.**

Para este objetivo, en primer lugar se seleccionó una metodología de cálculo relevante a nivel mundial de este tipo de emisiones. Se definió y aplicó la herramienta LandGEM (Landfill Gas Emissions Model) Version 3.02, desarrollado por la USEPA.

Se procedió a estimar los requerimientos de cálculo del programa: Las cantidades de residuos a depositar en los próximos 30 años y su composición. Para conocer estas cantidades se realizó una proyección geométrica del crecimiento demográfico de la provincia en base a los censos nacionales y provinciales.

Se obtuvieron como resultado las curvas de emisiones de gases GEI para cada caso, discriminando sus componentes principales (CH_4 y CO_2).

4. Teniendo en cuenta los antecedentes nacionales e internacionales en la gestión de Gases de RSU, proponer distintos estados o escenarios viables de ejecución para la Provincia de Córdoba.

Para la concreción de este objetivo se propusieron seis casos de estudio, que refieren a un sistema de captación y transformación de biogas generado en cada uno de los vertederos propuestos por el Programa Córdoba Limpia. Además se propuso una planta de separación de fracciones recuperables para tres de los seis casos planteados.

Los distintos casos de análisis, se obtuvieron parametrizando la variable principal que afecta la generación de biogas; la composición de los residuos a depositar. Los vertederos considerados en este estudio fueron planteados por el vigente Programa Córdoba Limpia, realizado por la Agencia Córdoba Ambiente (Gob. De la Provincia de Córdoba)

El sistema de tratamiento, captación y transformación planteado para cada caso está formado principalmente por una red de perforaciones interconectadas que colectan el biogas generado de las celdas previamente impermeabilizadas; sistemas de filtrado del biogas; sistemas de manejo de lixiviados; transformadores; sistemas de media tensión; antorchas de quemado. Los detalles constructivos se obtuvieron del estudio realizado con los mismos fines para el predio de Piedras Blancas, de la región metropolitana realizado por el Ing. Joaquín González, bajo directivas de USACE.

Como resultados se obtuvieron estimaciones de las instalaciones necesarias para la separación de residuos, captación y transformación energética del biogas, particulares para cada región limpia. Tanto las instalaciones como la metodología de estimación de biogas generado se obtuvieron siguiendo exclusivamente los criterios de la EPA (Agencia de Protección Ambiental - EEUU).

5. Analizar la viabilidad económica/financiera de cada caso planteado

En relación a este objetivo, en primer lugar se plantearon los ingresos derivados por la provisión de energía al interconectado nacional, la transacción de bonos de carbono en el mercado internacional y por la venta de fracciones recuperadas al mercado local. En segundo lugar, se estimaron los costos asociados a cada escenario planteado, considerando tanto las distintas inversiones estructurales como los costos operativos e impuestos asociados al tipo de industria.

Se establecieron supuestos necesarios para el análisis financiero como lo son: Un financiamiento mixto entre privados locales y el BID. Para cada tipo de financiamiento, se investigó la tasa de descuento aplicable para este tipo de proyectos y se determinó una tasa WACC (Weighted Average Cost of Capital) con un valor de 9,088% con el cual se descontarán los ingresos proyectados para cada caso planteado.

Por medio de un Flujo de Fondos proyectado en cada caso, se obtuvieron distintos resultados, siendo más favorables aquellos casos en donde se planteó que las fracciones orgánicas alcanzan sus valores máximos. Estos son los CASOS II y V. La diferencia entre ellos radicó en la presencia del sistema de separación de fracciones en el segundo mencionado.

BIBLIOGRAFÍA

- BALLESTEROS, JESUS. (1997) "Sociedad y medio ambiente". Editorial Trotta, S.A.
- Ley General del Ambiente N° 25.675 "Informe sobre el Estado del Ambiente" - Art. 18.
- LEY 24.051 Residuos Peligrosos – "Generación, manipulación, transporte y tratamiento"
- TCHOBANOGLOUS et al. (1994). "Gestión Integral De Residuos Sólidos Urbanos".
- DIRECTIVA. (2008). 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO.
- ACURIO Y ROSSIN (1997). "Costo del manejo de los residuos sólidos en algunos países latinoamericanos".
- JORGE JARAMILLO (2003) "Efectos de la inadecuada gestión de residuos sólidos".
- KEIHL and TRENBERTH (2006). "The Earth Observer". Volume 18, Issue 6.
- MÉNDEZ MUÑIZ, JAVIER MARÍA; CUERVO GARCÍA, RAFAEL; (2010). Energía Solar Térmica.
- Houweling et al. (1999). "Inverse modeling of methane sources and sinks using the adjoint of a global transport model".
- EPA (2008) "Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks".
- TOM M. L. WIGLEY et al. (1997) "Implicaciones de las propuestas de limitación de emisiones de CO₂".
- ICCP (2004) "La base científica, Resumen técnico del Informe del Grupo de Trabajo I".
- Keeling. (2014). "Oceanography y NOAA".
- Ecuador (2011). "Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático".
- Kiss y Mendoza. (1998) "Los productos y los impactos de la descomposición en los sitios de disposición final".
- EVE VASCO. EVE VASCO. "Tecnologías Avanzadas de Generación Eléctrica. Plantas Biogás Vertedero".
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO. MADRID. (2010) "El sector del biogás agroindustrial en España. Mesa sobre materia prima agraria y biocombustibles".
- PETERS (2003) "Characterization of municipal solid waste combustion in a grate furnace".
- MARTÍNEZ GERMÁN LÓPEZ (2003) "biodigestión anaerobia de residuos sólidos urbanos".
- IDAE (2010) "El sector del biogás agroindustrial en España. Mesa sobre materia prima agraria y biocombustibles".
- (2009) "Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Ingeniería de Residuos Ingeniería de Residuos Barranquilla".
- TALYAN V., R.P. DAHIYA, S. ANAND, T.R. SREEKRISHNAN. (2007). "Quantification of methane emission from municipal solid waste disposal in Delh".
- MAGGIE THURGOOD (1999). WORLD WASTES. : "The Changing Direction of European Landfills".

AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE, (2001), Programa “Córdoba Limpia”

POINT CARBON (2016): “Daily closing prices for EU-ETS, 15 June 2016”.

ING. MS. CS. SERGIO NIRICH (2011) “Diagnóstico provincial de los sistemas de gestión de residuos sólidos urbanos gobierno de la Provincia de Córdoba”.

AGENCIA CÓRDOBA AMBIENTE (2012) Informe Técnico “Análisis de sitios para el centro de tratamiento y disposición final para los residuos sólidos urbanos del área metropolitana de la ciudad de Córdoba”.

INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 y 2010

ECOSYSTEM MARKETPLACE Y BLOOMBERG (2012) “New Energy Finance”

PAGINAS WEB CONSULTADAS

-) www.bra.com.ar/Spanish/Noticias/Pages/Central-Buen-Ayre-comenzo-a-generar-energia.aspx: “Artículo blog Benito Roggio Ambienta”.
-) www.epa.gov/ttnemc01/promgate/m-02e: “EPA Method 2E - Determination of Landfill Gas Production Flow Rate”.
-) ars.org.ar: “asociación para el estudio de los residuos sólidos”.
-) <https://www3.epa.gov/>: “Agencia de Protección Ambiental”.
-) www.medioambiente.gov.ar/: “Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable”.
-) www.deis.gov.ar/: “Dirección de Estadísticas e Información en Salud”.
-) www.aidis.org.br/: “AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental”.
-) www.ingenieroambiental.com : “Composición del Aire”

ANEXO 1 - TABLA COMPLETA DE TASA DE CRECIMIENTO DEMOGRAFICO (2016/2030) (CAP 6)

REGIÓN LIMPIA		CENSO NACIONAL																							
N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO	2001	2008	2010	Variación absoluta	Variación relativa	Tasa de crecimiento poblacional geométrico (r)	Tasa de generación de residuos (Kg/Hab/día)	Precipitaciones anuales promedio (mm)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
			Total Provincial	3.066.801	3.243.621	3.308.876	242.075	7,89%	0,85%	0,754	821,154	Poblacion (hab)													
TOTALES REGIÓN PUNILLA - NORTE											3.480.784	3.510.292	3.540.049	3.570.059	3.600.323	3.630.844	3.661.624	3.692.664	3.723.968	3.755.536	3.787.373	3.819.480	3.851.858	3.884.511	3.917.441
1	Región Punilla - Norte	Cruz del Eje	52.172	56.218	58.759	6.587	12,63%	1,33%	0,629	750	61.812	62.336	62.864	63.397	63.935	64.477	65.023	65.574	66.130	66.691	67.256	67.826	68.401	68.981	69.566
1	Región Punilla - Norte	Ischilín	30.105	31.708	31.312	1.207	4,01%	0,44%	0,551	750	32.939	33.218	33.500	33.784	34.070	34.359	34.650	34.944	35.240	35.539	35.840	36.144	36.450	36.759	37.071
1	Región Punilla - Norte	Minas	4.881	5.343	4.727	-154	-3,16%	-0,36%	0,551	750	4.973	5.015	5.057	5.100	5.143	5.187	5.231	5.275	5.320	5.365	5.411	5.456	5.503	5.549	5.596
1	Región Punilla - Norte	Punilla	155.124	164.165	178.401	23.277	15,01%	1,57%	1,094	750	187.670	189.260	190.865	192.483	194.115	195.760	197.420	199.093	200.781	202.483	204.200	205.931	207.676	209.437	211.212
1	Región Punilla - Norte	Totoral	16.479	18.025	18.556	2.077	12,60%	1,33%	0,551	750	19.520	19.686	19.852	20.021	20.190	20.362	20.534	20.708	20.884	21.061	21.239	21.419	21.601	21.784	21.969
1	Región Punilla - Norte	Tulumba	12.211	13.666	12.673	462	3,78%	0,41%	0,551	750	13.331	13.444	13.558	13.673	13.789	13.906	14.024	14.143	14.263	14.384	14.506	14.629	14.753	14.878	15.004
TOTALES REGIÓN PUNILLA - NORTE											320.244	322.959	325.697	328.458	331.242	334.050	336.882	339.738	342.618	345.522	348.451	351.405	354.384	357.388	360.418
2	Región Traslasierras	San Alberto	32.395	37.185	37.004	4.609	14,23%	1,49%	0,523	700	38.926	39.256	39.589	39.925	40.263	40.605	40.949	41.296	41.646	41.999	42.355	42.714	43.076	43.441	43.810
2	Región Traslasierras	San Javier	48.951	51.692	53.520	4.569	9,33%	1,00%	0,523	700	56.301	56.778	57.259	57.745	58.234	58.728	59.226	59.728	60.234	60.745	61.260	61.779	62.303	62.831	63.363
TOTALES TRASLASIERRAS											95.227	96.034	96.848	97.669	98.497	99.332	100.174	101.024	101.880	102.744	103.615	104.493	105.379	106.272	107.173
3	Región Arroyito	Río Primero	42.429	46.125	46.675	4.246	10,01%	1,07%	0,498	900	49.100	49.516	49.936	50.359	50.786	51.217	51.651	52.089	52.530	52.976	53.425	53.878	54.334	54.795	55.259
TOTALES REGIÓN ARROYITO											49.100	49.516	49.936	50.359	50.786	51.217	51.651	52.089	52.530	52.976	53.425	53.878	54.334	54.795	55.259
4	Región Villa del Rosario	Río Segundo	95.803	100.150	103.718	7.915	8,26%	0,89%	0,418	850	109.107	110.031	110.964	111.905	112.854	113.810	114.775	115.748	116.729	117.719	118.717	119.723	120.738	121.762	122.794
TOTALES REGIÓN VILLA DEL ROSARIO											109.107	110.031	110.964	111.905	112.854	113.810	114.775	115.748	116.729	117.719	118.717	119.723	120.738	121.762	122.794
5	Región San Francisco	San Justo	190.182	203.237	206.307	16.125	8,48%	0,91%	0,684	1.000	217.025	218.865	220.721	222.592	224.479	226.382	228.301	230.236	232.188	234.156	236.141	238.143	240.162	242.198	244.251
TOTALES REGIÓN SAN FRANCISCO											217.025	218.865	220.721	222.592	224.479	226.382	228.301	230.236	232.188	234.156	236.141	238.143	240.162	242.198	244.251
6	Región Metropolitana	Capital	1.284.582	1.315.423	1.329.604	45.022	3,50%	0,38%	1,299	800	1.398.682	1.410.539	1.422.496	1.434.555	1.446.716	1.458.980	1.471.348	1.483.821	1.496.400	1.509.085	1.521.878	1.534.780	1.547.790	1.560.911	1.574.143
TOTALES REGIÓN METROPOLITANA											1.398.682	1.410.539	1.422.496	1.434.555	1.446.716	1.458.980	1.471.348	1.483.821	1.496.400	1.509.085	1.521.878	1.534.780	1.547.790	1.560.911	1.574.143
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Colón	171.067	208.244	225.151	54.084	31,62%	3,10%	0,557	900	236.848	238.856	240.881	242.923	244.982	247.059	249.154	251.266	253.396	255.544	257.710	259.895	262.098	264.320	266.561
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	General San Martín	116.107	124.337	127.454	11.347	9,77%	1,04%	0,557	900	134.076	135.212	136.359	137.514	138.680	139.856	141.041	142.237	143.443	144.659	145.885	147.122	148.369	149.627	150.895
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Santa María	86.083	94.772	98.188	12.105	14,06%	1,47%	0,557	900	103.289	104.165	105.048	105.938	106.836	107.742	108.655	109.577	110.505	111.442	112.387	113.340	114.301	115.269	116.247
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Tercero Arriba	107.460	109.535	109.554	2.094	1,95%	0,21%	0,557	900	115.246	116.223	117.208	118.202	119.204	120.214	121.233	122.261	123.297	124.343	125.397	126.460	127.532	128.613	129.703
TOTALES REGIÓN CENTRO ESTE											589.459	594.456	599.495	604.577	609.703	614.871	620.084	625.340	630.641	635.987	641.379	646.816	652.299	657.829	663.405
8	Región Calamuchita	Calamuchita	45.418	53.346	54.730	9.312	20,50%	2,09%	0,723	800	57.573	58.061	58.554	59.050	59.551	60.055	60.565	61.078	61.596	62.118	62.645	63.176	63.711	64.251	64.796
TOTALES REGIÓN CALAMUCHITA											57.573	58.061	58.554	59.050	59.551	60.055	60.565	61.078	61.596	62.118	62.645	63.176	63.711	64.251	64.796
9	Región Río Cuarto	Juárez Celman	55.348	59.134	61.078	5.730	10,35%	1,10%	1,038	850	64.251	64.796	65.345	65.899	66.458	67.021	67.589	68.162	68.740	69.323	69.910	70.503	71.101	71.704	72.311
9	Región Río Cuarto	Río Cuarto	229.728	246.351	246.393	16.665	7,25%	0,78%	1,038	850	259.194	261.391	263.607	265.842	268.095	270.368	272.660	274.971	277.302	279.653	282.024	284.415	286.826	289.257	291.709
TOTALES REGIÓN RIO CUARTO											323.445	326.187	328.952	331.741	334.553	337.389	340.249	343.134	346.043	348.976	351.934	354.918	357.927	360.961	364.021
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Marcos Juárez	99.761	105.232	104.205	4.444	4,45%	0,49%	1,070	950	109.619	110.548	111.485	112.430	113.383	114.345	115.314	116.291	117.277	118.271	119.274	120.285	121.305	122.333	123.370
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Unión	100.247	103.882	105.727	5.480	5,47%	0,59%	0,474	950	111.220	112.163	113.114	114.072	115.039	116.015	116.998	117.990	118.990	119.999	121.016	122.042	123.077	124.120	125.172
TOTALES REGIÓN SUDESTE											220.839	222.711	224.599	226.503	228.423	230.359	232.312	234.281	236.268	238.270	240.290	242.327	244.382	246.453	248.542
11	Región Laboulaye	Presidente Roque Sáenz Peña	34.647	36.537	36.282	1.635	4,72%	0,51%	0,679	900	38.167	38.491	38.817	39.146	39.478	39.812	40.150	40.490	40.834	41.180	41.529	41.881	42.236	42.594	42.955
TOTALES REGIÓN LABOULAYE											38.167	38.491	38.817	39.146	39.478	39.812	40.150	40.490	40.834	41.180	41.529	41.881	42.236	42.594	42.955
12	Región Huínca Renancó (Extremo Sur)	General Roca	33.323	35.939	35.645	2.322	6,97%	0,75%	1,119	900	37.497	37.815	38.135	38.459	38.785	39.113	39.445	39.779	40.117	40.457	40.800	41.145	41.494	41.846	42.201
TOTALES REGIÓN EXTREMO SUR											37.497	37.815	38.135	38.459	38.785	39.113	39.445	39.779	40.117	40.457	40.800	41.145	41.494	41.846	42.201
TOTALES SIN REGIÓN ASIGNADA											24.419	24.626	24.835	25.045	25.258	25.472	25.688	25.905	26.125	26.346	26.570	26.795	27.022	27.251	27.482

ANEXO 1 - TABLA COMPLETA DE TASA DE CRECIMIENTO DEMOGRAFICO (2030/2045) (CAP 6)

REGIÓN LIMPIA		CENSO NACIONAL																										
N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO	2001	2008	2010	Variación absoluta	Variación relativa	Tasa de crecimiento poblacional geométrico (r)	Tasa de generación de residuos (Kg/Hab/día)	Precipitaciones anuales promedio (mm)	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045		
											Población (hab)	Población (hab)																
		Total Provincial	3.066.801	3.243.621	3.308.876	242.075	7,89%	0,85%	0,754	821,154	3.917.441	3.950.650	3.984.141	4.017.915	4.051.976	4.086.326	4.120.966	4.155.901	4.191.131	4.226.661	4.262.491	4.298.625	4.335.066	4.371.815	4.408.876	4.446.251		
1	Región Punilla - Norte	Cruz del Eje	52.172	56.218	58.759	6.587	12,63%	1,33%	0,629	750	69.566	70.156	70.750	71.350	71.955	72.565	73.180	73.800	74.426	75.057	75.693	76.335	76.982	77.635	78.293	78.956		
1	Región Punilla - Norte	Ischilín	30.105	31.708	31.312	1.207	4,01%	0,44%	0,551	750	37.071	37.385	37.702	38.022	38.344	38.669	38.997	39.327	39.661	39.997	40.336	40.678	41.023	41.371	41.721	42.075		
1	Región Punilla - Norte	Minas	4.881	5.343	4.727	-154	-3,16%	-0,36%	0,551	750	5.596	5.644	5.692	5.740	5.789	5.838	5.887	5.937	5.987	6.038	6.089	6.141	6.193	6.245	6.298	6.352		
1	Región Punilla - Norte	Punilla	155.124	164.165	178.401	23.277	15,01%	1,57%	1,094	750	211.212	213.003	214.809	216.629	218.466	220.318	222.186	224.069	225.969	227.884	229.816	231.764	233.729	235.710	237.708	239.724		
1	Región Punilla - Norte	Totoral	16.479	18.025	18.556	2.077	12,60%	1,33%	0,551	750	21.969	22.155	22.343	22.532	22.723	22.916	23.110	23.306	23.504	23.703	23.904	24.106	24.311	24.517	24.725	24.934		
1	Región Punilla - Norte	Tulumba	12.211	13.666	12.673	462	3,78%	0,41%	0,551	750	15.004	15.131	15.259	15.389	15.519	15.651	15.783	15.917	16.052	16.188	16.325	16.464	16.603	16.744	16.886	17.029		
x	TOTALES REGIÓN PUNILLA - NORTE										360.418	363.473	366.555	369.662	372.796	375.956	379.143	382.357	385.599	388.867	392.164	395.488	398.841	402.222	405.632	409.070		
2	Región Traslasierras	San Alberto	32.395	37.185	37.004	4.609	14,23%	1,49%	0,523	700	43.810	44.181	44.556	44.933	45.314	45.698	46.086	46.476	46.870	47.268	47.669	48.073	48.480	48.891	49.306	49.724		
2	Región Traslasierras	San Javier	48.951	51.692	53.520	4.569	9,33%	1,00%	0,523	700	63.363	63.900	64.442	64.988	65.539	66.095	66.655	67.220	67.790	68.365	68.944	69.529	70.118	70.713	71.312	71.914		
x	TOTALES TRASLASIERRAS										107.173	108.082	108.998	109.922	110.854	111.793	112.741	113.697	114.661	115.633	116.613	117.601	118.598	119.604	120.618	121.640		
3	Región Arroyito	Río Primero	42.429	46.125	46.675	4.246	10,01%	1,07%	0,498	900	55.259	55.728	56.200	56.677	57.157	57.642	58.130	58.623	59.120	59.621	60.127	60.636	61.150	61.669	62.192	62.719		
x	TOTALES REGIÓN ARROYITO										55.259	55.728	56.200	56.677	57.157	57.642	58.130	58.623	59.120	59.621	60.127	60.636	61.150	61.669	62.192	62.719		
4	Región Villa del Rosario	Río Segundo	95.803	100.150	103.718	7.915	8,26%	0,89%	0,418	850	122.794	123.835	124.884	125.943	127.011	128.087	129.173	130.268	131.373	132.486	133.609	134.742	135.884	137.036	138.198	139.369		
x	TOTALES REGIÓN VILLA DEL ROSARIO										122.794	123.835	124.884	125.943	127.011	128.087	129.173	130.268	131.373	132.486	133.609	134.742	135.884	137.036	138.198	139.369		
5	Región San Francisco	San Justo	190.182	203.237	206.307	16.125	8,48%	0,91%	0,684	1.000	244.251	246.321	248.409	250.515	252.639	254.781	256.940	259.119	261.315	263.530	265.764	268.017	270.289	272.581	274.892	277.224		
x	TOTALES REGIÓN SAN FRANCISCO										244.251	246.321	248.409	250.515	252.639	254.781	256.940	259.119	261.315	263.530	265.764	268.017	270.289	272.581	274.892	277.224		
6	Región Metropolitana	Capital	1.284.582	1.315.423	1.329.604	45.022	3,50%	0,38%	1,299	800	1.574.143	1.587.488	1.600.945	1.614.517	1.628.204	1.642.006	1.655.926	1.669.964	1.684.120	1.698.397	1.712.795	1.727.314	1.741.957	1.756.724	1.771.616	1.786.635		
x	TOTALES REGIÓN METROPOLITANA										1.574.143	1.587.488	1.600.945	1.614.517	1.628.204	1.642.006	1.655.926	1.669.964	1.684.120	1.698.397	1.712.795	1.727.314	1.741.957	1.756.724	1.771.616	1.786.635		
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Colón	171.067	208.244	225.151	54.084	31,62%	3,10%	0,557	900	266.561	268.820	271.099	273.397	275.715	278.052	280.409	282.786	285.184	287.601	290.039	292.498	294.978	297.478	300.000	302.543		
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	General San Martín	116.107	124.337	127.454	11.347	9,77%	1,04%	0,557	900	150.895	152.174	153.464	154.765	156.077	157.400	158.735	160.080	161.437	162.806	164.186	165.578	166.982	168.397	169.825	171.266		
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Santa María	86.083	94.772	98.188	12.105	14,06%	1,47%	0,557	900	116.247	117.232	118.226	119.228	120.239	121.258	122.286	123.323	124.368	125.422	126.486	127.558	128.639	129.730	130.830	131.939		
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Tercero Arriba	107.460	109.535	109.554	2.094	1,95%	0,21%	0,557	900	129.703	130.803	131.911	133.030	134.157	135.295	136.442	137.598	138.765	139.941	141.127	142.324	143.530	144.747	145.974	147.211		
x	TOTALES REGIÓN CENTRO ESTE										663.405	669.029	674.701	680.420	686.189	692.005	697.872	703.788	709.754	715.771	721.838	727.958	734.129	740.352	746.628	752.958		
8	Región Calamuchita	Calamuchita	45.418	53.346	54.730	9.312	20,50%	2,09%	0,723	800	64.796	65.345	65.899	66.458	67.021	67.589	68.162	68.740	69.323	69.910	70.503	71.101	71.704	72.311	72.924	73.543		
x	TOTALES REGIÓN CALAMUCHITA										64.796	65.345	65.899	66.458	67.021	67.589	68.162	68.740	69.323	69.910	70.503	71.101	71.704	72.311	72.924	73.543		
9	Región Río Cuarto	Juárez Celman	55.348	59.134	61.078	5.730	10,35%	1,10%	1,038	850	72.311	72.924	73.543	74.166	74.795	75.429	76.068	76.713	77.363	78.019	78.681	79.348	80.020	80.699	81.383	82.073		
9	Región Río Cuarto	Río Cuarto	229.728	246.351	246.393	16.665	7,25%	0,78%	1,038	850	291.709	294.182	296.676	299.191	301.727	304.285	306.865	309.466	312.089	314.735	317.403	320.094	322.807	325.544	328.304	331.087		
x	TOTALES REGIÓN RÍO CUARTO										364.021	367.107	370.219	373.357	376.522	379.714	382.933	386.179	389.453	392.754	396.084	399.442	402.828	406.243	409.686	413.155		
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Marcos Juárez	99.761	105.232	104.205	4.444	4,45%	0,49%	1,070	950	123.370	124.416	125.471	126.534	127.607	128.689	129.780	130.880	131.989	133.108	134.237	135.375	136.522	137.680	138.847	140.024		
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Unión	100.247	103.882	105.727	5.480	5,47%	0,59%	0,474	950	125.172	126.233	127.303	128.383	129.471	130.568	131.675	132.792	133.917	135.053	136.197	137.352	138.516	139.691	140.875	142.069		
x	TOTALES REGIÓN SUDESTE										248.542	250.649	252.774	254.917	257.078	259.257	261.455	263.672	265.907	268.161	270.434	272.727	275.039	277.370	279.722	282.095		
11	Región Laboulaye	Presidente Roque Sáenz Peña	34.647	36.537	36.282	1.635	4,72%	0,51%	0,679	900	42.955	43.319	43.686	44.057	44.430	44.807	45.187	45.570	45.956	46.346	46.738	47.135	47.534	47.937	48.344	48.755		
x	TOTALES REGIÓN LABOULAYE										42.955	43.319	43.686	44.057	44.430	44.807	45.187	45.570	45.956	46.346	46.738	47.135	47.534	47.937	48.344	48.755		
12	Región Huinca Renancó (Extremo Sur)	General Roca	33.323	35.939	35.645	2.322	6,97%	0,75%	1,119	900	42																	

ANEXO 2 - TABLA COMPLETA DE TASA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS (2016/2030) (CAP 6)

REGIÓN LIMPIA		CENSO NACIONAL						Tasa de generación de residuos (Kg/Hab/día)	Precipitaciones anuales promedio (mm)	Proyección de Residuos (RSU ton/año)															
N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO	2001	2008	2010	Variación absoluta	Variación relativa			Tasa de crecimiento poblacional geométrico (r)	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		Total Provincial	3.066.801	3.243.621	3.308.876	242.075	7,89%	0,85%	0,754	821,154	957.653	965.772	973.959	982.215	990.542	998.939	1.007.407	1.015.947	1.024.559	1.033.245	1.042.004	1.050.837	1.059.745	1.068.729	1.077.789
1	Región Punilla - Norte	Cruz del Eje	52.172	56.218	58.759	6.587	12,63%	1,33%	0,629	750	14.191,05	14.311,35	14.432,67	14.555,02	14.678,41	14.802,84	14.928,33	15.054,88	15.182,50	15.311,21	15.441,00	15.571,90	15.703,91	15.837,03	15.971,29
1	Región Punilla - Norte	Ischilín	30.105	31.708	31.312	1.207	4,01%	0,44%	0,551	750	6.624,48	6.680,64	6.737,27	6.794,39	6.851,98	6.910,07	6.968,65	7.027,72	7.087,30	7.147,38	7.207,97	7.269,07	7.330,69	7.392,84	7.455,51
1	Región Punilla - Norte	Minas	4.881	5.343	4.727	-154	-3,16%	-0,36%	0,551	750	1.000,06	1.008,54	1.017,09	1.025,71	1.034,41	1.043,17	1.052,02	1.060,94	1.069,93	1.079,00	1.088,15	1.097,37	1.106,67	1.116,06	1.125,52
1	Región Punilla - Norte	Punilla	155.124	164.165	178.401	23.277	15,01%	1,57%	1,094	750	74.938,34	75.573,61	76.214,27	76.860,35	77.511,91	78.169,00	78.831,66	79.499,93	80.173,87	80.853,53	81.538,94	82.230,17	82.927,25	83.630,24	84.339,20
1	Región Punilla - Norte	Totoral	16.479	18.025	18.556	2.077	12,60%	1,33%	0,551	750	3.925,78	3.959,05	3.992,62	4.026,46	4.060,60	4.095,02	4.129,73	4.164,74	4.200,05	4.235,65	4.271,56	4.307,77	4.344,29	4.381,12	4.418,26
1	Región Punilla - Norte	Tulumba	12.211	13.666	12.673	462	3,78%	0,41%	0,551	750	2.681,15	2.703,87	2.726,80	2.749,91	2.773,22	2.796,73	2.820,44	2.844,35	2.868,46	2.892,78	2.917,30	2.942,03	2.966,97	2.992,13	3.017,49
x	TOTALES REGIÓN PUNILLA - NORTE										103.360,85	104.237,07	105.120,71	106.011,84	106.910,53	107.816,84	108.730,82	109.652,56	110.582,11	111.519,54	112.464,92	113.418,31	114.379,79	115.349,41	116.327,25
2	Región Traslasierras	San Alberto	32.395	37.185	37.004	4.609	14,23%	1,49%	0,523	700	7.430,87	7.493,87	7.557,39	7.621,46	7.686,07	7.751,22	7.816,93	7.883,20	7.950,03	8.017,42	8.085,39	8.153,93	8.223,05	8.292,76	8.363,06
2	Región Traslasierras	San Javier	48.951	51.692	53.520	4.569	9,33%	1,00%	0,523	700	10.747,50	10.838,60	10.930,49	11.023,15	11.116,59	11.210,83	11.305,87	11.401,71	11.498,36	11.595,84	11.694,14	11.793,27	11.893,25	11.994,07	12.095,75
x	TOTALES TRASLASIERRAS										18.178,37	18.332,47	18.487,88	18.644,60	18.802,66	18.962,05	19.122,80	19.284,91	19.448,39	19.613,26	19.779,53	19.947,20	20.116,30	20.286,83	20.458,81
3	Región Arroyito	Río Primero	42.429	46.125	46.675	4.246	10,01%	1,07%	0,498	900	8.924,90	9.000,55	9.076,85	9.153,80	9.231,40	9.309,66	9.388,58	9.468,17	9.548,43	9.629,37	9.711,00	9.793,33	9.876,35	9.960,07	10.044,50
x	TOTALES REGIÓN ARROYITO										8.924,90	9.000,55	9.076,85	9.153,80	9.231,40	9.309,66	9.388,58	9.468,17	9.548,43	9.629,37	9.711,00	9.793,33	9.876,35	9.960,07	10.044,50
4	Región Villa del Rosario	Río Segundo	95.803	100.150	103.718	7.915	8,26%	0,89%	0,418	850	16.646,38	16.787,50	16.929,81	17.073,33	17.218,06	17.364,02	17.511,22	17.659,67	17.809,37	17.960,35	18.112,60	18.266,15	18.420,99	18.577,15	18.734,64
x	TOTALES REGIÓN VILLA DEL ROSARIO										16.646,38	16.787,50	16.929,81	17.073,33	17.218,06	17.364,02	17.511,22	17.659,67	17.809,37	17.960,35	18.112,60	18.266,15	18.420,99	18.577,15	18.734,64
5	Región San Francisco	San Justo	190.182	203.237	206.307	16.125	8,48%	0,91%	0,684	1.000	54.182,56	54.641,88	55.105,09	55.572,23	56.043,33	56.518,42	56.997,54	57.480,72	57.968,00	58.459,41	58.954,98	59.454,76	59.958,77	60.467,06	60.979,65
x	TOTALES REGIÓN SAN FRANCISCO										54.182,56	54.641,88	55.105,09	55.572,23	56.043,33	56.518,42	56.997,54	57.480,72	57.968,00	58.459,41	58.954,98	59.454,76	59.958,77	60.467,06	60.979,65
6	Región Metropolitana	Capital	1.284.582	1.315.423	1.329.604	45.022	3,50%	0,38%	1,299	800	663.163,97	668.785,77	674.455,23	680.172,74	685.938,73	691.753,59	697.617,75	703.531,62	709.495,63	715.510,19	721.575,74	727.692,70	733.861,53	740.082,65	746.356,50
x	TOTALES REGIÓN METROPOLITANA										663.163,97	668.785,77	674.455,23	680.172,74	685.938,73	691.753,59	697.617,75	703.531,62	709.495,63	715.510,19	721.575,74	727.692,70	733.861,53	740.082,65	746.356,50
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Colón	171.067	208.244	225.151	54.084	31,62%	3,10%	0,557	900	48.152,47	48.560,67	48.972,33	49.387,48	49.806,15	50.228,36	50.654,16	51.083,57	51.516,62	51.953,34	52.393,76	52.837,91	53.285,83	53.737,55	54.193,09
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	General San Martín	116.107	124.337	127.454	11.347	9,77%	1,04%	0,557	900	27.258,26	27.489,33	27.722,37	27.957,38	28.194,38	28.433,39	28.674,43	28.917,51	29.162,65	29.409,86	29.659,18	29.910,61	30.164,17	30.419,87	30.677,75
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Santa María	86.083	94.772	98.188	12.105	14,06%	1,47%	0,557	900	20.999,22	21.177,23	21.356,76	21.537,80	21.720,38	21.904,51	22.090,20	22.277,46	22.466,32	22.656,77	22.848,84	23.042,53	23.237,87	23.434,86	23.633,52
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Tercero Arriba	107.460	109.535	109.554	2.094	1,95%	0,21%	0,557	900	23.430,03	23.628,65	23.828,96	24.030,96	24.234,68	24.440,12	24.647,31	24.856,25	25.066,96	25.279,46	25.493,76	25.709,88	25.927,83	26.147,62	26.369,28
x	TOTALES REGIÓN CENTRO ESTE										119.839,97	120.855,89	121.880,41	122.913,62	123.955,59	125.006,39	126.066,10	127.134,79	128.212,54	129.299,43	130.395,53	131.500,92	132.615,69	133.739,90	134.873,65
8	Región Calamuchita	Calamuchita	45.418	53.346	54.730	9.312	20,50%	2,09%	0,723	800	15.193,34	15.322,14	15.452,03	15.583,02	15.715,12	15.848,34	15.982,69	16.118,18	16.254,81	16.392,61	16.531,57	16.671,72	16.813,05	16.955,57	17.099,31
x	TOTALES REGIÓN CALAMUCHITA										15.193,34	15.322,14	15.452,03	15.583,02	15.715,12	15.848,34	15.982,69	16.118,18	16.254,81	16.392,61	16.531,57	16.671,72	16.813,05	16.955,57	17.099,31
9	Región Río Cuarto	Juárez Celman	55.348	59.134	61.078	5.730	10,35%	1,10%	1,038	850	24.342,86	24.549,22	24.757,33	24.967,20	25.178,86	25.392,30	25.607,56	25.824,64	26.043,56	26.264,34	26.486,99	26.711,53	26.937,97	27.166,33	27.396,62
9	Región Río Cuarto	Río Cuarto	229.728	246.351	246.393	16.665	7,25%	0,78%	1,038	850	98.200,84	99.033,31	99.872,84	100.719,48	101.573,30	102.434,36	103.302,73	104.178,45	105.061,59	105.952,22	106.850,41	107.756,20	108.669,68	109.590,90	110.519,92
x	TOTALES REGIÓN RIO CUARTO										122.543,70	123.582,53	124.630,17	125.686,69	126.752,16	127.826,67	128.910,29	130.003,09	131.105,16	132.216,57	133.337,40	134.467,73	135.607,64	136.757,22	137.916,55
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Marcos Juárez	99.761	105.232	104.205	4.444	4,45%	0,49%	1,070	950	42.811,63	43.174,56	43.540,56	43.909,66	44.281,89	44.657,28	45.035,85	45.417,63	45.802,65	46.190,93	46.582,50	46.977,39	47.375,63	47.777,24	48.182,26
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Unión	100.247	103.882	105.727	5.480	5,47%	0,59%	0,474	950	19.242,16	19.405,28	19.569,78	19.735,68	19.902,98	20.071,70	20.241,86	20.413,45	20.586,50	20.761,02	20.937,01	21.114,50	21.293,49	21.474,00	21.656,04
x	TOTALES REGIÓN SUDESTE										62.053,79	62.579,83	63.110,34	63.645,34	64.184,87	64.728,99	65.277,71	65.831,08	66.389,15	66.951,94	67.519,51	68.091,89	68.669,12	69.251,25	69.838,31
11	Región Laboulaye	Presidente Roque Sáenz Peña	34.647	36.537	36.282	1.635	4,72%	0,51%	0,679	900	9.459,11	9.539,30	9.620,17	9.701,72	9.783,96	9.866,91	9.950,55	10.034,90	10.119,97	10.205,76	10.292,28	10.379,53	10.467,52	10.556,25	10.645,74
x	TOTALES REGIÓN LABOULAYE																								

ANEXO 2 - TABLA COMPLETA DE TASA DE GENERACIÓN DE RESIDUOS (2030/2045) (CAP 6)

N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO	CENSO NACIONAL						Tasa de generación de residuos (Kg/Hab/día)	Precipitaciones anuales promedio (mm)	Proyección de residuos (RSU ton/año)															
			2001	2008	2010	Variación absoluta	Variación relativa	Tasa de crecimiento poblacional geométrico (r)			2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
Total Provincial			3.066.801	3.243.621	3.308.876	242.075	7,89%	0,85%	0,754	821.154	1.077.789	1.086.926	1.096.140	1.105.432	1.114.803	1.124.254	1.133.784	1.143.395	1.153.088	1.162.863	1.172.721	1.182.663	1.192.688	1.202.799	1.212.995	1.223.278
1	Región Punilla - Norte	Cruz del Eje	52.172	56.218	58.759	6.587	12,63%	1,33%	0,629	750	15.971,29	16.106,68	16.243,22	16.380,92	16.519,78	16.659,82	16.801,05	16.943,48	17.087,11	17.231,96	17.378,04	17.525,36	17.673,93	17.823,75	17.974,85	18.127,23
1	Región Punilla - Norte	Ischilín	30.105	31.708	31.312	1.207	4,01%	0,44%	0,551	750	7.455,51	7.518,71	7.582,45	7.646,73	7.711,55	7.776,92	7.842,85	7.909,33	7.976,38	8.044,00	8.112,19	8.180,96	8.250,31	8.320,25	8.390,79	8.461,92
1	Región Punilla - Norte	Minas	4.881	5.343	4.727	-154	-3,16%	-0,36%	0,551	750	1.125,52	1.135,06	1.144,68	1.154,38	1.164,17	1.174,04	1.183,99	1.194,03	1.204,15	1.214,36	1.224,65	1.235,03	1.245,50	1.256,06	1.266,71	1.277,45
1	Región Punilla - Norte	Punilla	155.124	164.165	178.401	23.277	15,01%	1,57%	1,094	750	84.339,20	85.054,16	85.775,18	86.502,32	87.235,62	87.975,14	88.720,92	89.473,03	90.231,52	90.996,43	91.767,83	92.545,77	93.330,30	94.121,48	94.919,37	95.724,03
1	Región Punilla - Norte	Totoral	16.479	18.025	18.556	2.077	12,60%	1,33%	0,551	750	4.418,26	4.455,71	4.493,48	4.531,57	4.569,99	4.608,73	4.647,80	4.687,20	4.726,93	4.767,01	4.807,42	4.848,17	4.889,27	4.930,72	4.972,52	5.014,67
1	Región Punilla - Norte	Tulumba	12.211	13.666	12.673	462	3,78%	0,41%	0,551	750	3.017,49	3.043,07	3.068,87	3.094,88	3.121,12	3.147,58	3.174,26	3.201,17	3.228,31	3.255,67	3.283,27	3.311,11	3.339,17	3.367,48	3.396,03	3.424,82
x	TOTALES REGIÓN PUNILLA - NORTE										116.327,25	117.313,39	118.307,88	119.310,81	120.322,23	121.342,23	122.370,88	123.408,24	124.454,41	125.509,44	126.573,41	127.646,40	128.728,49	129.819,75	130.920,26	132.030,11
2	Región Traslasierras	San Alberto	32.395	37.185	37.004	4.609	14,23%	1,49%	0,523	700	8.363,06	8.433,96	8.505,45	8.577,56	8.650,27	8.723,60	8.797,55	8.872,13	8.947,34	9.023,19	9.099,68	9.176,82	9.254,62	9.333,07	9.412,19	9.491,98
2	Región Traslasierras	San Javier	48.951	51.692	53.520	4.569	9,33%	1,00%	0,523	700	12.095,75	12.198,28	12.301,69	12.405,98	12.511,14	12.617,20	12.724,16	12.832,03	12.940,81	13.050,51	13.161,14	13.272,71	13.385,23	13.498,70	13.613,13	13.728,53
x	TOTALES TRASLASIERRAS										20.458,81	20.632,24	20.807,14	20.983,53	21.161,41	21.340,80	21.521,72	21.704,16	21.888,15	22.073,70	22.260,83	22.449,54	22.639,85	22.831,77	23.025,32	23.220,51
3	Región Arroyito	Río Primero	42.429	46.125	46.675	4.246	10,01%	1,07%	0,498	900	10.044,50	10.129,65	10.215,53	10.302,13	10.389,46	10.477,53	10.566,35	10.655,93	10.746,26	10.837,36	10.929,23	11.021,88	11.115,31	11.209,54	11.304,57	11.400,40
x	TOTALES REGIÓN ARROYITO										10.044,50	10.129,65	10.215,53	10.302,13	10.389,46	10.477,53	10.566,35	10.655,93	10.746,26	10.837,36	10.929,23	11.021,88	11.115,31	11.209,54	11.304,57	11.400,40
4	Región Villa del Rosario	Río Segundo	95.803	100.150	103.718	7.915	8,26%	0,89%	0,418	850	18.734,64	18.893,45	19.053,62	19.215,14	19.378,03	19.542,30	19.707,97	19.875,04	20.043,52	20.213,44	20.384,79	20.557,60	20.731,87	20.907,62	21.084,86	21.263,60
x	TOTALES REGIÓN VILLA DEL ROSARIO										18.734,64	18.893,45	19.053,62	19.215,14	19.378,03	19.542,30	19.707,97	19.875,04	20.043,52	20.213,44	20.384,79	20.557,60	20.731,87	20.907,62	21.084,86	21.263,60
5	Región San Francisco	San Justo	190.182	203.237	206.307	16.125	8,48%	0,91%	0,684	1.000	60.979,65	61.496,59	62.017,91	62.543,65	63.073,85	63.608,54	64.147,76	64.691,56	65.239,96	65.793,02	66.350,76	66.913,23	67.480,47	68.052,52	68.629,42	69.211,21
x	TOTALES REGIÓN SAN FRANCISCO										60.979,65	61.496,59	62.017,91	62.543,65	63.073,85	63.608,54	64.147,76	64.691,56	65.239,96	65.793,02	66.350,76	66.913,23	67.480,47	68.052,52	68.629,42	69.211,21
6	Región Metropolitana	Capital	1.284.582	1.315.423	1.329.604	45.022	3,50%	0,38%	1,299	800	746.356,50	752.683,54	759.064,22	765.498,98	771.988,30	778.532,63	785.132,43	791.788,18	798.500,36	805.269,44	812.095,90	818.980,22	825.922,91	832.924,46	839.985,35	847.106,11
x	TOTALES REGIÓN METROPOLITANA										746.356,50	752.683,54	759.064,22	765.498,98	771.988,30	778.532,63	785.132,43	791.788,18	798.500,36	805.269,44	812.095,90	818.980,22	825.922,91	832.924,46	839.985,35	847.106,11
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Colón	171.067	208.244	225.151	54.084	31,62%	3,10%	0,557	900	54.193,09	54.652,50	55.115,80	55.583,03	56.054,22	56.529,41	57.008,62	57.491,90	57.979,27	58.470,77	58.966,44	59.466,31	59.970,42	60.478,81	60.991,50	61.508,54
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	General San Martín	116.107	124.337	127.454	11.347	9,77%	1,04%	0,557	900	30.677,75	30.937,81	31.200,08	31.464,57	31.731,30	32.000,30	32.271,57	32.545,15	32.821,04	33.099,27	33.379,86	33.662,83	33.948,20	34.235,98	34.526,21	34.818,90
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Santa María	86.083	94.772	98.188	12.105	14,06%	1,47%	0,557	900	23.633,52	23.833,87	24.035,92	24.239,67	24.445,16	24.652,39	24.861,37	25.072,13	25.284,67	25.499,01	25.715,17	25.933,17	26.153,01	26.374,71	26.598,30	26.823,78
7	Región Villa Nueva (Centro Este)	Tercero Arriba	107.460	109.535	109.554	2.094	1,95%	0,21%	0,557	900	26.369,28	26.592,82	26.818,25	27.045,60	27.274,87	27.506,09	27.739,26	27.974,41	28.211,56	28.450,72	28.691,90	28.935,13	29.180,42	29.427,79	29.677,25	29.928,83
x	TOTALES REGIÓN CENTRO ESTE										134.873,65	136.017,00	137.170,05	138.332,87	139.505,55	140.688,18	141.880,82	143.083,58	144.296,53	145.519,77	146.753,37	147.997,44	149.252,05	150.517,29	151.793,26	153.080,05
8	Región Calamuchita	Calamuchita	45.418	53.346	54.730	9.312	20,50%	2,09%	0,723	800	17.099,31	17.244,27	17.390,45	17.537,87	17.686,54	17.836,48	17.987,68	18.140,17	18.293,95	18.449,03	18.605,43	18.763,15	18.922,21	19.082,62	19.244,38	19.407,52
x	TOTALES REGIÓN CALAMUCHITA										17.099,31	17.244,27	17.390,45	17.537,87	17.686,54	17.836,48	17.987,68	18.140,17	18.293,95	18.449,03	18.605,43	18.763,15	18.922,21	19.082,62	19.244,38	19.407,52
9	Región Río Cuarto	Juárez Celman	55.348	59.134	61.078	5.730	10,35%	1,10%	1,038	850	27.396,62	27.628,87	27.863,09	28.099,29	28.337,49	28.577,72	28.819,98	29.064,29	29.310,67	29.559,15	29.809,73	30.062,43	30.317,28	30.574,29	30.833,47	31.094,85
9	Región Río Cuarto	Río Cuarto	229.728	246.351	246.393	16.665	7,25%	0,78%	1,038	850	110.519,92	111.456,83	112.401,67	113.354,53	114.315,46	115.284,54	116.261,83	117.247,41	118.241,35	119.243,71	120.254,56	121.273,99	122.302,06	123.338,84	124.384,42	125.438,85
x	TOTALES REGIÓN RIO CUARTO										137.916,55	139.085,70	140.264,76	141.453,82	142.652,95	143.862,26	145.081,81	146.311,70	147.552,02	148.802,86	150.064,29	151.336,42	152.619,34	153.913,13	155.217,89	156.533,70
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Marcos Juárez	99.761	105.232	104.205	4.444	4,45%	0,49%	1,070	950	48.182,26	48.590,72	49.002,63	49.418,04	49.836,97	50.259,45	50.685,51	51.115,18	51.548,49	51.985,48	52.426,18	52.870,61	53.318,80	53.770,80	54.226,63	54.686,32
10	Región Monte Maíz (Sudeste)	Unión	100.247	103.882	105.727	5.480	5,47%	0,59%	0,474	950	21.656,04	21.839,63	22.024,77	22.211,48	22.399,77	22.589,66	22.781,15	22.974,27	23.169,03	23.365,44	23.563,52	23.763,27	23.964,72	24.167,87	24.372,75	24.579,36
x	TOTALES REGIÓN SUDESTE										69.838,31	70.430,34	71.027,40	71.629,51	72.236,73	72.849,10	73.466,66	74								

ANEXO 3 – PLAN DE RECUPERACIÓN DE FRACCIONES INORGANICAS – CASOS IV (CAP 6)

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045		
FRACCÓN RSU		RSU (ton/año)	1.218.836	1.229.168	1.239.588	1.250.096	1.260.694	1.271.381	1.282.158	1.293.028	1.303.989	1.315.043	1.326.191	1.337.434	1.348.771	1.360.205	1.371.736	1.383.364	1.395.092	1.406.918	1.418.845	1.430.873	1.443.003	1.455.235	1.467.572	1.480.013	1.492.559	1.505.212	1.517.972	1.530.840	1.543.817	1.556.905	
FRACCIONES ORGÁNICAS	RESIDUOS DE COMIDA		393.196	396.530	399.891	403.281	406.700	410.147	413.624	417.131	420.667	424.233	427.829	431.456	435.114	438.802	442.522	446.273	450.057	453.872	457.719	461.600	465.513	469.459	473.439	477.452	481.500	485.581	489.698	493.849	498.035	502.257	
	OTROS ORGÁNICOS		316.166	318.846	321.549	324.275	327.024	329.796	332.592	335.411	338.255	341.122	344.014	346.930	349.871	352.837	355.828	358.845	361.887	364.955	368.048	371.168	374.315	377.488	380.688	383.915	387.170	390.452	393.762	397.100	400.466	403.861	
	TOTAL		709.362	715.376	721.440	727.556	733.724	739.944	746.216	752.542	758.922	765.355	771.843	778.386	784.985	791.639	798.350	805.118	811.943	818.826	825.768	832.768	839.828	846.947	854.127	861.367	868.669	876.033	883.460	890.949	898.502	906.118	
FRACCIONES RECUPERABLES	MADERA	Cantidad a disponer (ton)	7.801	7.867	7.933	8.001	8.068	8.137	8.206	8.275	8.346	8.416	8.488	8.560	8.632	8.705	8.779	8.854	8.929	9.004	9.081	9.158	9.235	9.314	9.392	9.472	9.552	9.633	9.715	9.797	9.880	9.964	
		Recupero (ton)	933	941	949	957	965	1.947	1.963	1.980	1.997	2.013	3.046	3.072	3.098	3.124	3.150	4.236	4.272	4.308	4.345	4.382	5.523	5.570	5.617	5.665	5.713	6.914	6.973	7.032	7.091	7.151	
		Cantidad resultante (ton)	6.867	6.926	6.984	7.044	7.103	6.190	6.243	6.296	6.349	6.403	5.442	5.488	5.534	5.581	5.629	4.617	4.657	4.696	4.736	4.776	3.712	3.743	3.775	3.807	3.839	2.719	2.743	2.766	2.789	2.813	
	PAPEL	Cantidad a disponer (ton)	122.615	123.654	124.703	125.760	126.826	127.901	128.985	130.079	131.181	132.293	133.415	134.546	135.686	136.837	137.997	139.166	140.346	141.536	142.736	143.946	145.166	146.397	147.638	148.889	150.151	151.424	152.708	154.003	155.308	156.625	
		Recupero (ton)	14.667	14.791	14.917	15.043	15.171	30.598	30.858	31.119	31.383	31.649	47.876	48.282	48.691	49.104	49.520	66.587	67.151	67.721	68.295	68.874	86.822	87.558	88.300	89.049	89.803	108.678	109.599	110.528	111.465	112.410	
		Cantidad resultante (ton)	107.948	108.863	109.786	110.717	111.655	97.303	98.127	98.959	99.798	100.644	85.539	86.264	86.995	87.733	88.476	72.580	73.195	73.815	74.441	75.072	58.344	58.839	59.338	59.841	60.348	42.747	43.109	43.474	43.843	44.215	
	PLÁSTICOS	Cantidad a disponer (ton)	152.476	153.769	155.072	156.387	157.713	159.050	160.398	161.758	163.129	164.512	165.907	167.313	168.731	170.162	171.604	173.059	174.526	176.005	177.497	179.002	180.520	182.050	183.593	185.150	186.719	188.302	189.898	191.508	193.132	194.769	
		Recupero (ton)	18.239	18.393	18.549	18.707	18.865	38.050	38.373	38.698	39.026	39.357	59.536	60.041	60.550	61.063	61.580	82.803	83.505	84.213	84.927	85.647	107.966	108.882	109.805	110.735	111.674	135.145	136.291	137.446	138.611	139.786	
		Cantidad resultante (ton)	134.238	135.375	136.523	137.680	138.848	121.000	122.025	123.060	124.103	125.155	106.371	107.272	108.182	109.099	110.024	90.256	91.021	91.792	92.570	93.355	72.553	73.168	73.789	74.414	75.045	53.157	53.608	54.062	54.520	54.983	
	METALES	Cantidad a disponer (ton)	24.620	24.829	25.040	25.252	25.466	25.682	25.900	26.119	26.341	26.564	26.789	27.016	27.245	27.476	27.709	27.944	28.181	28.420	28.661	28.904	29.149	29.396	29.645	29.896	30.150	30.405	30.663	30.923	31.185	31.449	
		Recupero (ton)	2.945	2.970	2.995	3.021	3.046	6.144	6.196	6.249	6.302	6.355	9.613	9.695	9.777	9.860	9.943	13.370	13.484	13.598	13.713	13.829	17.433	17.581	17.730	17.881	18.032	21.822	22.007	22.194	22.382	22.571	
		Cantidad resultante (ton)	21.675	21.859	22.044	22.231	22.420	19.538	19.704	19.871	20.039	20.209	17.176	17.321	17.468	17.616	17.766	14.574	14.697	14.822	14.947	15.074	11.715	11.815	11.915	12.016	12.118	8.583	8.656	8.729	8.803	8.878	
	VIDRIO	Cantidad a disponer (ton)	56.432	56.910	57.393	57.879	58.370	58.865	59.364	59.867	60.375	60.886	61.403	61.923	62.448	62.977	63.511	64.050	64.593	65.140	65.693	66.249	66.811	67.377	67.949	68.525	69.105	69.691	70.282	70.878	71.479	72.085	
		Recupero (ton)	6.750	6.807	6.865	6.923	6.982	14.083	14.202	14.322	14.444	14.566	22.034	22.221	22.410	22.600	22.791	30.646	30.906	31.168	31.432	31.698	39.959	40.297	40.639	40.984	41.331	50.018	50.442	50.869	51.301	51.735	
		Cantidad resultante (ton)	49.682	50.103	50.528	50.956	51.388	44.782	45.162	45.545	45.931	46.320	39.368	39.702	40.039	40.378	40.720	33.404	33.687	33.973	34.261	34.551	26.852	27.080	27.309	27.541	27.774	19.674	19.840	20.009	20.178	20.349	
	OTROS INORGÁNICOS	Cantidad a disponer (ton)	102.626	103.496	104.373	105.258	106.150	107.050	107.958	108.873	109.796	110.727	111.665	112.612	113.567	114.529	115.500	116.479	117.467	118.463	119.467	120.479	121.501	122.531	123.570	124.617	125.673	126.739	127.813	128.897	129.989	131.091	
		Recupero (ton)	12.276	12.380	12.485	12.591	12.697	25.610	25.827	26.046	26.267	26.490	40.071	40.411	40.754	41.099	41.447	55.732	56.204	56.681	57.161	57.646	72.668	73.284	73.905	74.532	75.164	90.961	91.732	92.510	93.294	94.085	
		Cantidad resultante (ton)	90.350	91.116	91.888	92.667	93.453	81.440	82.131	82.827	83.529	84.237	71.594	72.201	72.813	73.430	74.053	60.748	61.263	61.782	62.306	62.834	48.833	49.247	49.664	50.085	50.510	35.778	36.081	36.387	36.696	37.007	
	RESIDUOS ESPECIALES	Cantidad a disponer (ton)	42.903	43.267	43.633	44.003	44.376	44.753	45.132	45.515	45.900	46.290	46.682	47.078	47.477	47.879	48.285	48.694	49.107	49.524	49.943	50.367	50.794	51.224	51.659	52.096	52.538	52.983	53.433	53.886	54.342	54.803	
		Recupero (ton)	5.132	5.175	5.219	5.264	5.308	10.706	10.797	10.889	10.981	11.074	16.752	16.894	17.037	17.182	17.327	23.299	23.496	23.695	23.896	24.099	30.379	30.637	30.896	31.158	31.422	38.026	38.349	38.674	39.002	39.332	
		Cantidad resultante (ton)	37.771	38.091	38.414	38.740	39.068	34.046	34.335	34.626	34.919	35.215	29.930	30.184	30.440	30.698	30.958	25.396	25.611	25.828	26.047	26.268	20.415	20.588	20.762	20.938	21.116	14.957	15.084	15.212	15.341	15.471	
	TOTAL SIN RECUPERO			509.473	513.792	518.148	522.540	526.970	531.437	535.942	540.486	545.067	549.688	554.348	559.047	563.786	568.566	573.386	578.246	583.148	588.092	593.077	598.105	603.175	608.288	613.445	618.645	623.890	629.179	634.512	639.891	645.316	650.786
	TOTAL CON RECUPERO			448.531	452.334	456.168	460.035	463.935	404.299	407.726	411.183	414.668	418.184	355.419	358.432	361.471	364.535	367.625	301.573	304.130	306.708	309.308	311.930	242.424	244.480	246.552	248.642	250.750	177.615	179.121	180.639	182.170	183.715
	RECUPERO RESPECTO DEL TOTAL RSU (%)			5%					10%					15%					20%					25%					30%				
TOTAL RSU (ton)			60.942	61.458	61.979	62.505	63.035	127.138	128.216	129.303	130.399	131.504	198.929	200.615	202.316	204.031	205.760	276.673	279.018	281.384	283.769	286.175	360.751	363.809	366.893	370.003	373.140	451.564	455.392	459.252	463.145	467.071	
CANTIDAD FINAL DE RESID		RSU (ton/año)	1.157.894	1.167.710	1.177.608	1.187.591	1.197.659	1.144.243	1.153.943	1.163.725	1.173.590	1.183.539	1.127.262	1.136.819	1.146.456	1.156.174	1.165.976	1.106.692	1.116.073	1.125.534	1.135.076	1.144.698	1.082.252	1.091.426	1.100.679	1.110.009	1.119.419	1.053.648	1.062.580	1.071.588	1.080.672	1.089.833	
RECALCULO DE LAS FRACCIONES																																	
RESIDUOS DE COMIDA		32,26%	33,958%	33,958%	33,958%	33,958%	33,958%	35,844%	35,84%	35,84%	35,84%	35,84%	37,95%	37,95%	37,95%	37,95%	37,95%	40,33%	40,33%	40,33%	40,33%	40,33%	43,01%	43,01%	43,01%	43,01%	43,01%	46,09%	46,09%	46,09%	46,09%	46,09%	
OTROS ORGÁNICOS		25,94%	27,305%	27,305%	27,305%	27,305%	27,305%	28,82%	28,82%	28,82%	28,82%	28,82%	30,52%	30,52%	30,52%	30,52%	30,52%	32,43%	32,43%	32,43%	32,43%	32,43%	34,59%	34,59%	34								

ANEXO 3 – PLAN DE RECUPERACIÓN DE FRACCIONES INORGANICAS – CASO V (CAP 6)

		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	
FRACCÓN RSU		RSU (ton/año)	1.218.836	1.229.168	1.239.588	1.250.096	1.260.694	1.271.381	1.282.158	1.293.028	1.303.989	1.315.043	1.326.191	1.337.434	1.348.771	1.360.205	1.371.736	1.383.364	1.395.092	1.406.918	1.418.845	1.430.873	1.443.003	1.455.235	1.467.572	1.480.013	1.492.559	1.505.212	1.517.972	1.530.840	1.543.817	1.556.905
FRACCIONES ORGÁNICAS	RESIDUOS DE COMIDA	451.330	455.156	459.015	462.906	466.830	470.787	474.778	478.803	482.862	486.956	491.084	495.247	499.445	503.679	507.949	512.255	516.597	520.976	525.393	529.847	534.338	538.868	543.436	548.043	552.689	557.374	562.099	566.864	571.670	576.516	
	OTROS ORGÁNICOS	401.171	404.572	408.002	411.460	414.948	418.466	422.013	425.591	429.199	432.837	436.506	440.207	443.938	447.702	451.497	455.325	459.184	463.077	467.003	470.962	474.954	478.980	483.041	487.136	491.265	495.430	499.630	503.865	508.136	512.444	
TOTAL		852.501	859.728	867.016	874.366	881.778	889.253	896.792	904.394	912.061	919.793	927.590	935.453	943.383	951.381	959.446	967.579	975.782	984.054	992.396	1.000.808	1.009.292	1.017.848	1.026.477	1.035.179	1.043.954	1.052.804	1.061.729	1.070.729	1.079.806	1.088.960	
FRACCIONES RECUPERABLES	MADERA	Cantidad a disponer (ton)	5.642	5.690	5.738	5.787	5.836	5.885	5.935	5.985	6.036	6.087	6.139	6.191	6.243	6.296	6.350	6.404	6.458	6.513	6.568	6.623	6.680	6.736	6.793	6.851	6.909	6.968	7.027	7.086	7.146	7.207
		Recupero (ton)	939	947	955	963	971	1.958	1.975	1.991	2.008	2.025	3.064	3.090	3.116	3.142	3.169	4.261	4.297	4.334	4.370	4.407	5.556	5.603	5.651	5.698	5.747	6.955	7.014	7.073	7.133	7.193
		Cantidad resultante (ton)	4.703	4.743	4.783	4.824	4.865	3.927	3.960	3.994	4.028	4.062	3.075	3.101	3.128	3.154	3.181	2.142	2.161	2.179	2.197	2.216	1.124	1.133	1.143	1.152	1.162	13	13	13	13	13
	PAPEL	Cantidad a disponer (ton)	88.138	88.885	89.639	90.399	91.165	91.938	92.717	93.503	94.296	95.095	95.901	96.714	97.534	98.361	99.195	100.036	100.884	101.739	102.601	103.471	104.348	105.233	106.125	107.025	107.932	108.847	109.770	110.700	111.639	112.585
		Recupero (ton)	14.662	14.787	14.912	15.038	15.166	30.589	30.848	31.110	31.373	31.639	47.861	48.267	48.676	49.089	49.505	66.566	67.130	67.699	68.273	68.852	86.795	87.531	88.273	89.021	89.775	108.644	109.565	110.494	111.430	112.375
		Cantidad resultante (ton)	73.476	74.099	74.727	75.360	75.999	61.349	61.869	62.394	62.923	63.456	48.040	48.447	48.858	49.272	49.690	33.470	33.753	34.040	34.328	34.619	17.554	17.702	17.853	18.004	18.157	203	205	207	208	210
	PLÁSTICOS	Cantidad a disponer (ton)	109.616	110.545	111.482	112.427	113.380	114.342	115.311	116.288	117.274	118.268	119.271	120.282	121.302	122.330	123.367	124.413	125.468	126.531	127.604	128.686	129.776	130.877	131.986	133.105	134.233	135.371	136.519	137.676	138.843	140.020
		Recupero (ton)	18.235	18.390	18.546	18.703	18.861	38.043	38.365	38.690	39.018	39.349	59.524	60.029	60.538	61.051	61.568	82.787	83.489	84.197	84.910	85.630	107.945	108.860	109.783	110.714	111.652	135.119	136.264	137.419	138.584	139.759
		Cantidad resultante (ton)	91.381	92.155	92.937	93.724	94.519	76.299	76.946	77.598	78.256	78.919	59.747	60.253	60.764	61.279	61.799	41.626	41.979	42.334	42.693	43.055	21.831	22.016	22.203	22.391	22.581	253	255	257	259	261
	METALES	Cantidad a disponer (ton)	17.720	17.870	18.022	18.175	18.329	18.484	18.641	18.799	18.958	19.119	19.281	19.444	19.609	19.776	19.943	20.112	20.283	20.455	20.628	20.803	20.979	21.157	21.336	21.517	21.700	21.884	22.069	22.256	22.445	22.635
		Recupero (ton)	2.948	2.973	2.998	3.023	3.049	6.150	6.202	6.255	6.308	6.361	9.623	9.704	9.786	9.869	9.953	13.383	13.497	13.611	13.726	13.843	17.450	17.598	17.747	17.898	18.049	21.843	22.028	22.215	22.403	22.593
		Cantidad resultante (ton)	14.772	14.898	15.024	15.151	15.280	12.334	12.439	12.544	12.651	12.758	9.658	9.740	9.823	9.906	9.990	6.729	6.786	6.844	6.902	6.960	3.529	3.559	3.589	3.620	3.650	41	41	42	42	42
	VIDRIO	Cantidad a disponer (ton)	40.576	40.920	41.267	41.616	41.969	42.325	42.684	43.046	43.410	43.779	44.150	44.524	44.901	45.282	45.666	46.053	46.443	46.837	47.234	47.635	48.038	48.446	48.856	49.270	49.688	50.109	50.534	50.962	51.395	51.830
		Recupero (ton)	6.750	6.807	6.865	6.923	6.982	14.082	14.201	14.322	14.443	14.566	22.034	22.220	22.409	22.599	22.790	30.645	30.904	31.166	31.431	31.697	39.957	40.296	40.638	40.982	41.329	50.016	50.440	50.867	51.299	51.733
		Cantidad resultante (ton)	33.826	34.112	34.402	34.693	34.987	28.243	28.482	28.724	28.967	29.213	22.116	22.303	22.493	22.683	22.876	15.408	15.539	15.671	15.803	15.937	8.081	8.150	8.219	8.288	8.359	94	94	95	96	97
	OTROS INORGÁNICOS	Cantidad a disponer (ton)	73.836	74.462	75.093	75.730	76.372	77.019	77.672	78.330	78.995	79.664	80.339	81.021	81.707	82.400	83.099	83.803	84.513	85.230	85.952	86.681	87.416	88.157	88.904	89.658	90.418	91.184	91.957	92.737	93.523	94.316
		Recupero (ton)	12.283	12.387	12.492	12.598	12.705	25.625	25.842	26.061	26.282	26.505	40.095	40.435	40.777	41.123	41.472	55.764	56.237	56.714	57.195	57.680	72.711	73.327	73.949	74.575	75.208	91.014	91.786	92.564	93.349	94.140
		Cantidad resultante (ton)	61.553	62.075	62.601	63.132	63.667	51.394	51.830	52.269	52.712	53.159	40.245	40.586	40.930	41.277	41.627	28.039	28.276	28.516	28.758	29.002	14.705	14.830	14.956	15.082	15.210	170	172	173	175	176
	RESIDUOS ESPECIALES	Cantidad a disponer (ton)	30.806	31.067	31.331	31.596	31.864	32.134	32.407	32.682	32.959	33.238	33.520	33.804	34.090	34.379	34.671	34.965	35.261	35.560	35.862	36.166	36.472	36.781	37.093	37.408	37.725	38.045	38.367	38.692	39.020	39.351
		Recupero (ton)	5.125	5.168	5.212	5.256	5.301	10.691	10.782	10.874	10.966	11.059	16.729	16.870	17.013	17.158	17.303	23.266	23.464	23.663	23.863	24.065	30.337	30.594	30.853	31.115	31.379	37.974	38.295	38.620	38.947	39.278
		Cantidad resultante (ton)	25.682	25.899	26.119	26.340	26.563	21.443	21.625	21.808	21.993	22.179	16.791	16.933	17.077	17.222	17.368	11.698	11.798	11.898	11.998	12.100	6.135	6.187	6.240	6.293	6.346	71	72	72	73	73
	TOTAL SIN RECUPERO		366.334	369.440	372.572	375.730	378.915	382.127	385.367	388.634	391.928	395.251	398.601	401.980	405.388	408.824	412.290	415.785	419.310	422.865	426.449	430.064	433.710	437.387	441.095	444.834	448.605	452.408	456.243	460.111	464.011	467.945
	TOTAL CON RECUPERO		305.393	307.981	310.592	313.225	315.880	254.989	257.151	259.331	261.529	263.746	199.673	201.365	203.072	204.794	206.530	139.112	140.292	141.481	142.680	143.890	72.960	73.578	74.202	74.831	75.465	844	851	859	866	873
	RECUPERO RESPECTO DEL TOTAL RSU (%)		5%						10%					15%					20%					25%					30%			
(ton)		60.942	61.458	61.979	62.505	63.035	127.138	128.216	129.303	130.399	131.504	198.929	200.615	202.316	204.031	205.760	276.673	279.018	281.384	283.769	286.175	360.751	363.809	366.893	370.003	373.140	451.564	455.392	459.252	463.145	467.071	
CANTIDAD FINAL DE RESID RSU (ton/año)		1.157.894	1.167.710	1.177.608	1.187.591	1.197.659	1.144.243	1.153.943	1.163.725	1.173.590	1.183.539	1.127.262	1.136.819	1.146.456	1.156.174	1.165.976	1.106.692	1.116.073	1.125.534	1.135.076	1.144.698	1.082.252	1.091.426	1.100.679	1.110.009	1.119.419	1.053.648	1.062.580	1.071.588	1.080.672	1.089.833	
RECALCULO DE LAS FRACCIONES																																
RESIDUOS DE COMIDA		37,03%	38,979%	38,979%	38,979%	38,979%	41,144%	41,14%	41,14%	41,14%	41,14%	43,56%	43,56%	43,56%	43,56%	43,56%	46,29%	46,29%	46,29%	46,29%	46,29%	49,37%	49,37%	49,37%	49,37%	49,37%	52,90%	52,90%	52,90%	52,90%	52,90%	
OTROS ORGÁNICOS		32,91%	34,647%	34,647%	34,647%	34,647%	36,57%	36,57%	36,5																							

ANEXO 4 – PRODUCCIÓN DE METANO PROMEDIO POR REGIÓN LIMPIA

PRODUCCIÓN DE BASURA (PROMEDIO 30 AÑOS) (ANTES DE RECUPERACIÓN Y/O DISPOSICIÓN)				PRODUCCIÓN DE METANO (PROMEDIO 30 AÑOS)																			
N°	NOMBRE	Tn _{RSU} /año	%	CASO I			CASO II			CASO III			CASO IV			CASO V			CASO VI				
				Tn/año	m ³ /año	m ³ /hr	Tn/año	m ³ /año	m ³ /hr	Tn/año	m ³ /año	m ³ /hr	Tn/año	m ³ /año	m ³ /hr	Tn/año	m ³ /año	m ³ /hr	Tn/año	m ³ /año	m ³ /hr		
1	Región Punilla - Norte	117.131	8,48%	4.749	7.117.902	812,546	5.771	8.650.610	987,513	3.724	5.581.734	637,184	5.045	7.562.453	863,294	6.117	9.168.380	1.046,619	3.967	5.945.499	678,710		
2	Región Traslasierras	20.600	1,49%	835	1.251.846	142,905	1.015	1.521.408	173,677	655	981.675	112,063	887	1.330.030	151,830	1.076	1.612.469	184,072	698	1.045.652	119,367		
3	Región Arroyito	10.114	0,73%	410	614.609	70,161	498	746.954	85,269	322	481.966	55,019	436	652.995	74,543	528	791.662	90,372	342	513.376	58,605		
4	Región Villa del Rosario	18.864	1,37%	765	1.146.346	130,861	929	1.393.191	159,040	600	898.945	102,619	813	1.217.942	139,034	985	1.476.578	168,559	639	957.529	109,307		
5	Región San Francisco	61.401	4,45%	2.765	4.145.104	473,185	3.359	5.034.731	574,741	1.952	2.925.988	334,017	2.645	3.964.296	452,545	3.206	4.806.136	548,646	2.079	3.116.676	355,785		
6	Región Metropolitana	751.516	54,41%	30.468	45.668.513	5.213,301	37.028	55.502.379	6.335,888	23.892	35.812.442	4.088,178	32.371	48.520.751	5.538,898	39.245	58.824.391	6.715,113	25.449	38.146.362	4.354,608		
7	Región Villa Nueva	135.806	9,83%	5.506	8.252.730	942,093	6.691	10.029.802	1.144,955	4.318	6.471.646	738,772	5.850	8.768.157	1.000,931	26.550	21.260.243	2.426,968	4.599	6.893.407	786,919		
8	Región Calamuchita	17.218	1,25%	698	1.046.283	119,439	848	1.271.581	145,158	547	820.477	93,662	742	1.111.629	126,898	899	1.347.689	153,846	583	873.948	99,766		
9	Región Río Cuarto	138.870	10,05%	5.630	8.438.921	963,347149	6.842	10.256.086	1170,78606	4.415	6.617.653	755,440	5.982	8.965.976	1.023,513	7.252	10.869.949	1.240,862	4.703	7.048.930	804,672		
10	Región Monte Maíz	70.321	5,09%	2.851	4.273.309	487,821	3.465	5.193.486	592,864	2.236	3.351.053	382,540	3.029	4.540.199	518,288	3.672	5.504.335	628,349	2.381	3.569.443	407,471		
11	Región Laboulaye	10.719	0,78%	435	651.398	74,360	528	791.664	90,373	341	510.815	58,312	462	692.081	79,005	560	839.048	95,782	363	544.105	62,112		
12	Región Huinca Renancó	17.355	1,26%	704	1.054.664	120,395	3.201	2.563.533	292,641	552	827.049	94,412	748	1.120.533	127,915	3.393	2.716.969	310,156	588	880.948	100,565		
13	Sin Región Asignada	11.302	0,82%	458	686.826	78,405	557	834.721	95,288	359	538.597	61,484	487	729.722	83,302	906	1.358.484	155,078	383	573.698	65,491		
Total				1.381.217	100%	56.273	84.348.452	9.629	70.735	103.790.146	11.848	43.912	65.820.038	7.514	59.494	89.176.763	10.180	94.389	120.576.333	13.764	46.773	70.109.572	8.003

ANEXO 5 - CAPACIDAD ENERGÉTICA DE CADA REGIÓN LIMPIA

PRODUCCIÓN DE BASURA (PROMEDIO 30 AÑOS) (ANTES DE RECUPERACIÓN Y/O DISPOSICIÓN)				PRODUCCIÓN DE METANO (PROMEDIO 30 AÑOS)																	
N°	NOMBRE	Tn _{RSU} /año	%	CASO I			CASO II			CASO III			CASO IV			CASO V			CASO VI		
				m3/hr	MW/m ³	MW/hr	m3/hr	MW/m ⁴	MW/hr	m3/hr	MW/m ⁵	MW/hr	m3/hr	MW/m ⁶	MW/hr	m3/hr	MW/m ⁷	MW/hr	m3/hr	MW/m ⁸	MW/hr
1	Región Punilla - Norte	117.131	8,48%	812,5	0,00587	4,772	987,5	0,00587	5,800	637,2	0,00587	3,742	863,3	0,00587	5,070	1.046,6	0,00587	6,147	678,7	0,00587	3,986
2	Región Traslasierras	20.600	1,49%	142,91	0,00587	0,8393	173,68	0,00587	1,0200	112,06	0,00587	0,6582	151,83	0,00587	0,8917	184,07	0,00587	1,0811	119,37	0,00587	0,7011
3	Región Arroyito	10.114	0,73%	70,16	0,00587	0,4121	85,27	0,00587	0,5008	55,02	0,00587	0,3231	74,54	0,00587	0,4378	90,37	0,00587	0,5308	58,61	0,00587	0,3442
4	Región Villa del Rosario	18.864	1,37%	130,86	0,00587	0,7686	159,04	0,00587	0,9341	102,62	0,00587	0,6027	139,03	0,00587	0,8166	168,56	0,00587	0,9900	109,31	0,00587	0,6420
5	Región San Francisco	61.401	4,45%	473,19	0,00587	2,7791	574,74	0,00587	3,3755	334,02	0,00587	1,9617	452,55	0,00587	2,6579	548,65	0,00587	3,2223	355,79	0,00587	2,0896
6	Región Metropolitana	751.516	54,41%	5.213,30	0,00587	30,6185	6.335,89	0,00587	37,2116	4.088,18	0,00587	24,0105	5.538,90	0,00587	32,5308	6.715,11	0,00587	39,4389	4.354,61	0,00587	25,5753
7	Región Villa Nueva	135.806	9,83%	942,09	0,00587	5,5331	1.144,96	0,00587	6,7245	738,77	0,00587	4,3389	1.000,93	0,00587	5,8786	2.426,97	0,00587	14,2539	786,92	0,00587	4,6217
8	Región Calamuchita	17.218	1,25%	119,44	0,00587	0,7015	145,16	0,00587	0,8525	93,66	0,00587	0,5501	126,90	0,00587	0,7453	153,85	0,00587	0,9036	99,77	0,00587	0,5859
9	Región Río Cuarto	138.870	10,05%	963,35	0,00587	5,6579	1.170,79	0,00587	6,8762	755,44	0,00587	4,4368	1.023,51	0,00587	6,0112	1.240,86	0,00587	7,2878	804,67	0,00587	4,7260
10	Región Monte Maíz	70.321	5,09%	487,82	0,00587	2,8650	592,86	0,00587	3,4820	382,54	0,00587	2,2467	518,29	0,00587	3,0440	628,35	0,00587	3,6904	407,47	0,00587	2,3931
11	Región Laboulaye	10.719	0,78%	74,36	0,00587	0,4367	90,37	0,00587	0,5308	58,31	0,00587	0,3425	79,01	0,00587	0,4640	95,78	0,00587	0,5625	62,11	0,00587	0,3648
12	Región Huinca Renancó	17.355	1,26%	120,40	0,00587	0,7071	292,64	0,00587	1,7187	94,41	0,00587	0,5545	127,92	0,00587	0,7513	310,16	0,00587	1,8216	100,57	0,00587	0,5906
13	Sin Región Asignada	11.302	0,82%	78,41	0,00587	0,4605	95,29	0,00587	0,5596	61,48	0,00587	0,3611	83,30	0,00587	0,4892	155,08	0,00587	0,9108	65,49	0,00587	0,3846
Total				9.628,82	56,5515	11.848,19	69,5862	7.513,70	44,1291	10.180,00	59,7886	13.764,42	80,8405	8.003,38	47,0050						
				m3/hr	MW/hr	m3/hr	MW/hr	m3/hr	MW/hr	m3/hr	MW/hr	m3/hr	MW/hr	m3/hr	MW/hr						