

INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA A PARTIR DE BIOGÁS DE RELLENO SANITARIO

AUTORES: Asensio Cenice, Gustavo Germán (Leg. N° 58650)
Campana, Matías Andrés (Leg. N° 57080)
González, Tomás Agustín (Leg. N° 56471)
Sebático, Ximena Aldana (Leg. N° 57027)
Skubic, Tomás Marco (Leg. N° 57326)
Sosa, Magalí Belén (Leg. N° 56383)

TUTOR: Valverde, Pedro

TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

BUENOS AIRES

2019

Resumen

El presente estudio de prefactibilidad trata sobre la instalación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario. Dicha instalación se realiza en el Complejo Ambiental Norte III, módulo D, del CEAMSE. Se toma como primera suposición la pertenencia a la empresa Tecsan, la cual ya se encuentra en funcionamiento dentro del predio. Una segunda suposición para la realización del estudio es la obtención de la licitación del biogás generado en el módulo correspondiente.

El estudio se divide en cuatro capítulos. El primero de ellos es el estudio de Mercado. En primer lugar, se analiza el funcionamiento mercado eléctrico argentino. Luego, se investiga los resultados obtenidos en las rondas previas de RenovAr para poder tener una primera aproximación del precio al cual licitar. Sin embargo, dicho precio no es el definitivo, ya que se determina en la etapa final del estudio. A continuación, se analiza el funcionamiento del MATER, y se proyectan los precios de venta de energía. Para complementar el análisis se procede a proyectar la demanda de energía eléctrica de cada segmento de consumo, junto con la potencia instalada de fuentes renovables y la disponibilidad de residuos sólidos urbanos para disponer en el relleno sanitario. Este último resulta útil para obtener la proyección del biogás que debe ingresar al módulo para abastecer la planta. Una vez conocido todos estos aspectos, se realiza una primera aproximación a la capacidad a instalar en la planta. Se considera que la capacidad a instalar es de 5 MW para destinar al programa RenovAr y otros 2 MW al MATER, cuyas producciones arrancarían en 2021 y 2022, respectivamente.

El capítulo de Ingeniería se adentra la localización de la planta y en el proceso productivo. Éste comienza con la etapa de captación del biogás a partir de perforaciones distribuidas en el módulo D. Cada pozo está conectado a una subestación, en la cual se ajusta la calidad del biogás y se recolecta el gas proveniente de distintos pozos, para luego alimentar la red perimetral, que se encarga de conducir el biogás de todas las subestaciones hacia la planta de pretratamiento. En ésta se adecúa el porcentaje de metano presente en el biogás para el correcto funcionamiento de los motogeneradores. Para ello, se seleccionan diversas tecnologías con el propósito de eliminar los líquidos lixiviados, partículas sólidas y otras sustancias tales como el azufre, que pudiesen estar presentes en el biogás y dañar los motogeneradores. A continuación, se definen los generadores en los cuales ocurre la

generación de energía eléctrica propiamente dicha. Finalmente, se encuentran los transformadores previos a la conexión a la red de CAMMESA. Una vez definida la capacidad de generación de biogás del módulo, se establecen los requerimientos de las máquinas, se realiza una selección según las necesidades y las distintas alternativas que ofrece el mercado para cada una de ellas, se establece su distribución en la planta, se elabora el cronograma de inversiones, y se define el personal necesario para la operación de la central.

El tercer capítulo corresponde al análisis económico-financiero. En esta etapa se utiliza la información adquirida en la etapa de mercado, complementada con los costos asociados a la etapa de ingeniería. Se definen aquellas inversiones necesarias para cumplir con los requerimientos de la etapa de ingeniería, junto con los gastos que se deben realizar de manera periódica para el óptimo funcionamiento de la planta. A su vez, se deben tener en cuenta aquellos impuestos correspondientes a la zona en donde se localiza la planta, y otros gastos que se deben realizar para poder ingresar en la licitación. Con los datos obtenidos en la etapa de mercado se puede estimar los ingresos esperados y combinando ambos aspectos se realiza un flujo de fondos, tanto para el proyecto como para el inversor. Para esto, también es necesario el cálculo del costo de capital ponderado.

Finalmente, la última etapa del estudio corresponde al análisis de riesgos y mitigación. En este capítulo se estudia la variabilidad del proyecto para cuantificar su impacto y analizar formas de disminuir o eliminar dicha variabilidad. En primer lugar, se definen aquellas variables más relevantes. Una vez definidas, se debe analizar la forma en que varían para poder estimar su comportamiento en el Excel del proyecto. Luego, se procede a la realización de simulación de Montecarlo, tanto previa como posteriormente a la mitigación, para analizar el impacto de dichas acciones y decidir si es recomendable llevarlas a cabo. En esta etapa se define el precio a presentar en la licitación, el cual disminuye al aplicar mitigación de riesgos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el VAN del inversor debe ser positivo, por lo que se debe llegar a una situación de compromiso entre lo que resulta atractivo para el inversor y un precio que brinde una mayor probabilidad de ganar la licitación. Dicho análisis se complementa con opciones reales.

Abstract:

The following pre-feasibility study refers to the installation of a power plant that uses energy derived from gas produced from waste at sanitary landfills. The landfill is located at the "Complejo Ambiental Norte III", more specifically from the module D, which belongs to CEAMSE. In order to do the study we have some assumptions to make. In the first place, we belong to the company "Tecsán", which is already working at the landfill. The second assumption is that the contract through which the availability of the landfill waste is secured has been won by the company.

The study is divided into four chapters. The first one refers to market analysis. In this stage, a complete analysis of how the energy market in Argentina works is made. Then, we analyse previous results of contracts made by the government to buy green energy so as to have a first idea of how much is the price of each type of green energy through the RenovAr program. However, this is not the final price, which is going to be defined in the last chapter of the study. Then, we examine the way MATER works, and do some projections of the price at which energy is bought. To complement the analysis, we do some projections of the energy consumption, together with the installed power capacity in Argentina and the availability of waste produced from urban areas destined to this landfill. This last projection is useful to know the amount of gas that is going to be produced and which is going to be used in the plant. Once all these aspects are considered, we are able to have a first idea of the capacity the plant is going to have. At this stage we establish 5 MW destined to RenovAr and 2 MW to MATER, starting in 2021 and 2022 respectively.

The next one is the engineering chapter. Here, we decide the location of the plant, and we deepened in relation to the process which the waste goes through. The process begins with the suction of the gas through some vertical pipes located throughout the landfill. Each pipe is connected to a substation that reunites several pipes and is essential for the quality control of the process, because it has for each pipe one valve that can be opened or closed depending on the quality of the gas each pipe brings. Then, the gas is directed to the main pipe, which enables it to arrive at the pretreatment plant. Inside the plant, the quality of the gas is controlled, extracting the landfill leachate and setting the gas to the optimum conditions before entering the generators. In order to do so, the selection of technology must be done accurately for each process. The next important decision is

which type of energy generator is going to be used, depending on the working conditions and the amount of energy required. Finally, the power transformers, which make the produced energy compatible with the grid demands, are chosen. Then, the connection to the grid is made, being CAMMESA the handler. Once the power capacity is determined, the machinery requirements are defined according to the needs, and the different alternatives offered in the market for each process are evaluated in order to choose the most adequate technologies. Other aspects considered in the chapter are the layout design, the investment schedule and the necessary staff so as to have a fully operative plant.

The third chapter refers to the economical and financial aspects of the project. In this stage, the information obtained in the market study, as well as the investments mentioned in the engineering chapter, are used. So as to fulfill the requirements during the engineering stage, some investments and expenses need to be done periodically for the optimum operation of the plant. In addition, those taxes related to the location of the plant and other expenses originated in the process of submitting a tender. With the market data, the expected incomes can be estimated, and the free cash flow to the firm, as well as to the equity, can be made. Also, the weighted average cost of capital needs to be calculated.

Finally, the last stage of the study is related to the risks and mitigation analysis. In this chapter, the variability of the project is examined so as to quantify its impact and to study the ways, either to diminish or eliminate the risks. In the first place, the most relevant variables are defined. Then, the way they vary must be estimated to be able to anticipate their behavior in the project's excel. Afterwards, the Montecarlo simulation is done, before and after the mitigation is applied, to examine its impact of such actions and decide if it is advisable to do them. Along this stage, the price to submit to the tender is defined, which lowers when the risk mitigation method is applied. However, the investor's NPV must be positive. For this reason, the price must make the project attractive for investors, but also lower enough so as to have more chances to win the tender. This analysis is complemented with real options.

TABLA DE CONTENIDO

1 CAPÍTULO MERCADO	1
1.1 DEFINICIÓN DE NEGOCIO	1
1.1.1 La empresa	1
1.1.2 Tratamiento de desechos urbanos.....	4
1.1.3 ¿Qué es el Biogás?.....	5
1.1.4 Introducción del proceso de producción de energía	5
1.1.5 Biogás en Argentina	8
1.1.6 Análisis de las 5 fuerzas de Porter.....	8
1.1.6.1 Proveedores.....	9
1.1.6.2 Clientes	10
1.1.6.3 Competencia	10
1.1.6.4 Nuevos entrantes	11
1.1.6.5 Sustitutos.....	12
1.2 Mercado Eléctrico Argentino.....	12
1.2.1 Comercialización de la energía	12
1.2.2 Comercialización de la energía renovable	14
1.2.3 Programa RenovAr	14
1.2.4 Red de conexión eléctrica argentina	15
1.3 Oferta	17
1.3.1 Potencia instalada en Argentina	17
1.3.2 Generación de energía en Argentina	19
1.3.3 Potencia instalada de energías renovables	22
1.3.4 Generación de residuos	26
1.3.5 El CEAMSE y la gestión de los RSU	29
1.3.6 Complejo Ambiental Norte III	30
1.4 DEMANDA.....	34
1.4.1 Clasificación de la demanda.....	34
1.4.2 Selección de modelos	36
1.4.3 Proyecciones	42

1.4.3.1 Demanda futura total	46
1.5 ANÁLISIS DE PRECIOS	49
1.5.1 Precio monómico.....	49
1.5.1.1 Evolución del precio monómico	55
1.5.1.2 Proyección del precio monómico.....	56
1.5.2 RenovAr	61
1.5.2.1 Ronda 1 y 1.5	61
1.5.2.2 RenovAr Ronda 2 y 2.5	64
1.5.2.3 RenovAr ronda 3	67
1.5.3 Precio en las compras conjuntas.....	68
1.5.4 Precios MATER	73
1.5.5 Relación entre precio monómico, CC y MATER	75
1.5.6 Precios estimados	76
1.5.6.1 Precio RenovAr ronda 4	77
1.5.6.2 Precio MATER	78
1.6 Conclusiones análisis de mercado.....	79
2 CAPÍTULO INGENIERÍA.....	81
2.1 Definición del producto	81
2.1.1 Modelo de generación de biogás	86
2.2 LOCALIZACIÓN	88
2.2.1 Macrolocalización	88
2.2.2 Microlocalización	89
2.3 Proceso productivo	91
2.3.1 Disposición del relleno sanitario	91
2.3.2.1 Captación del gas – extracción	95
2.3.2.2 Subestaciones de regulación	100
2.3.2.3 Red de tuberías colectoras	102
2.3.2.4 Operación y mantenimiento.....	104
2.3.2.5 Tratamiento de líquidos lixiviados.....	107

2.3.2.6 Proceso de pretratamiento.....	107
2.4 Selección de tecnologías.....	108
2.4.1 Demisters	108
2.4.2 Sopladores de ingreso	109
2.4.3 Intercambiador de calor	111
2.4.4 Separador de fases	114
2.4.5 Sopladores secundarios.....	115
2.4.6 Tratamiento de siloxanos	116
2.4.7 Filtros de partículas	120
2.4.8 Generación	122
2.4.9 Transformador.....	129
2.4.10 Celdas.....	132
2.4.11 Electroducto	133
2.4.12 Antorcha.....	136
2.5 Balance de línea	137
2.5.1 RenovAr.....	137
2.5.2 MATER.....	139
2.6 Layout	141
2.7 Personal de planta	141
2.8 Cronograma de implementación	143
2.9 Marco Legal.....	145
2.10 Consideraciones ambientales	146
3 CAPÍTULO ECONÓMICO Y FINANCIERO	149
3.1 Costos	149
3.1.1 Sistema de costeo	149
3.1.2 Inversiones	149
3.1.3 Inversiones en activos fijos	150

3.1.3.1 Captación y pretratamiento de biogás	151
3.1.3.2 Generación de energía	153
3.1.3.3 Inversiones en obras civiles y puesta en marcha.....	154
3.1.3.4 Instrumentación operativa	156
3.1.4 Costos de importación	158
3.1.5 Amortizaciones.....	158
3.1.6 Cronograma de inversión.....	161
3.1.7 Gastos de operación.....	161
3.1.8 Mantenimiento	162
3.2 Personal.....	164
3.2.1 Cargas sociales, contribuciones y otros gastos a cargo del empleador	165
3.3 Seguros	167
3.4 Impuestos	167
3.4.1 Impuestos nacionales	167
3.4.2 Impuestos provinciales	168
3.4.3 Impuestos Municipales	168
3.4.4 Plazos de pago RenovAr y MATER.....	170
3.4.5 Canon CEAMSE	171
3.4.6 Garantía.....	171
3.5 Financiamiento	171
3.6 Tratamiento del IVA	172
3.7 Inflación y tasa de cambio.....	173
3.8 Cuadro de resultados.....	175
3.9 Flujo de Fondos	176
3.10 WACC	177

3.11 TIR, VAN y periodo de repago	178
3.12 Conclusión.....	179
4 RIESGO	180
4.1 Variables de riesgo	180
4.1.1 Volumen de biogás generado	180
4.1.2 Composición del biogás	181
4.1.3 Eficiencia de captación	182
4.1.4 Rendimientos generadores	184
4.1.5 Inflación	185
4.1.6 Tipo de cambio nominal	186
4.1.7 Riesgo país	187
4.1.8 Riesgo MATER.....	188
4.1.9 Precio MATER.....	188
4.1.10 Período de pago (RenovAr)	189
4.1.11 Periodo de pago (MATER).....	190
4.1.12 Factor de planta	190
4.1.13 Consumo de energía dentro de la planta	191
4.1.14 Desabastecimiento del contrato RenovAr y MATER	192
4.1.15 Ganar la licitación para entrar a RenovAr	192
4.2 Análisis de sensibilidad de las variables (Tornado Chart) .	193
4.3 Simulación de Montecarlo (interpretación de los resultados)	
.....	195
4.4 Cobertura de riesgos	200
4.4.1 Cubrimiento de relleno sanitario para disminuir filtraciones de biogás al entorno	200
4.4.2 Purificación de biogás.....	202
4.4.3 Compra de biogás a otras empresas generadoras	204

4.5 Impacto de la cobertura de riesgos en la rentabilidad del proyecto.....	205
4.6 Escenarios	208
4.7 Precio de licitación.....	213
4.8 Identificación de opciones reales.....	214
4.8.1 Valoración de opciones reales.....	216
4.9 Conclusión.....	224
5 ANEXO	227
5.1 Anexo mercado	227
5.1.1 Consideraciones generales del programa RenovAr.....	227
5.1.1.1 Garantía de Cumplimiento del Contrato de Abastecimiento	227
5.1.1.2 Garantía de Mantenimiento de Oferta	229
5.1.2 Intercambios de energía	229
5.1.3 Generación de energía a partir de biogás en Argentina	230
5.1.4 Compras conjuntas	231
5.1.5 Autogeneración o cogeneración	232
5.1.6 Mercado a término de energías renovables (MATER).....	232
5.1.7 Despacho de energía	234
5.1.8 Análisis de regresión de la Gran Demanda.....	235
5.1.9 Precios.....	236
5.1.9.1 Precios AySA.....	236
5.1.9.2 Precios ofertados por Central Puerto.....	237
5.1.10 Programa RenovAr	238
5.1.10.1 Factores de incentivo y ajuste	238
5.1.10.2 Precio esperado en programa RenovAr licitando a 130 U\$D/MWh.....	238
5.1.11 Propuesta alternativa para el precio monómico	239
5.1.11.1 Resultados modelo X1 y X2	240

5.1.11.2 Proyección del precio monómico con Holt Winters ...	245
5.1.11.3 Proyección de precios para X_1 y X_2 con Mean Reversion	248
5.1.11.4 Random Walk precio barril de crudo	248
5.1.11.5 Random Walk precio Gas Natural	250
5.1.12 Desestacionalización de precio monómico desde 2012.....	255
5.1.13 Proyección de precio de Compras Conjuntas.....	255
5.1.14 Costo según fuente de energía.....	258
5.2 ANEXO INGENIERÍA.....	259
5.2.1 Líquidos lixiviados	259
5.2.2 Diámetro de tuberías.....	260
5.3 Anexo económico – financiero	263
5.3.1 Estructura de pagos de CAMMESA.....	263
5.3.2 Costos de importación	264
5.3.3 Opciones de financiamiento consideradas	265
5.3.3.1 Préstamo Verde del Banco Itaú.....	265
5.3.3.2 Préstamo del Banco de Inversión y Comercio Exterior (BICE).....	265
5.3.3.3 Préstamo Banco Nación.....	266
5.3.3.4 Emisión de bonos	266
5.4 ANEXO Riesgo	267
5.4.1 Modelo de Contrato de Abastecimiento (CAMMESA, 2019):....	267
5.4.2 Programa RenovAr Ronda 1 (Pliego de Bases y Condiciones - 2016):.....	268
5.4.3 Venta de pliego de bases y condiciones RenovAr 2.....	268
5.4.4 Consumo y rendimientos de otras máquinas.....	269
5.4.5 Tablas y gráficos Crystal Ball	270
5.4.6 Van medio nulo con mitigación	286
6. BIBLIOGRAFÍA	287

1 CAPÍTULO MERCADO

A través del análisis de mercado se pretende poder comprender cómo funciona actualmente el mercado energético en el país. Dicho análisis tiene como objetivo analizar la posibilidad de una inversión por parte de la empresa Tecsan para ampliar su capacidad productiva de energía a partir de biogás, y si dicha inversión será rentable en el futuro. Para esto, se debe tener en cuenta todas las variables que afectan tanto a la producción como la comercialización del producto.

El proyecto de inversión que se desea evaluar tiene como foco la expansión de la producción de energía en el Centro de Disposición Final Norte III, ubicado en el predio del CEAMSE. La potencia instalada actual es de 11,8 MW y la despachada, 10 MW. Se estima que se podría aumentar su capacidad de producción hasta en un 50%. Esta energía obtenida se inyectaría a la red de energía existente a través de un electroducto.

La producción de energía a partir del biogás generado en los rellenos sanitarios tiene una ventaja muy importante: al tratarse de un proceso que utiliza la basura urbana como insumo básico, se estaría reutilizando aquello que parece no tener ningún uso aparente. No solo se está aprovechando un potencial energético que parece en desuso, sino que, además, se reducen las emisiones de gases contaminantes al medio ambiente.

1.1 DEFINICIÓN DE NEGOCIO

1.1.1 La empresa

Benito Roggio ambiental (BR.a) es una de las ramas de la empresa Benito Roggio que se ha establecido como una de las empresas líderes en Latinoamérica en lo que respecta a servicios sustentables para el ambiente. Sus operaciones iniciaron en 1986, cuando consiguieron la concesión de la recolección de residuos en la ciudad de Córdoba. Luego se expandieron a otras provincias, Neuquén y Buenos Aires, y países de la región como México, Bolivia, Paraguay y Brasil

Las actividades de esta empresa se desarrollan en tres sectores:

- Servicios Urbanos,
- Servicios Ambientales Integrados,

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

- Transporte, Tratamiento, Disposición Final y Valorización de Residuos.

Tecsan, una de las áreas de negocio de la empresa Benito Roggio ambiental, se encarga de este último sector. Nace en el año 1994, cuando se licita el primer módulo del Complejo Ambiental Norte III. Actualmente posee bajo su cargo tres centros de disposición final:

- El Centro de Disposición Final Norte III, ubicado en la Provincia de Buenos Aires.
- El Centro de Disposición Final Mar del Plata, de la cual obtuvo licitación en marzo de 2010.
- El Centro de Disposición Final Neuquén.

Al formar parte de BR.a, adhiere a los mismos principios que éste, los cuales se detallan a continuación:

Visión: ser una de las tres empresas más importantes en desarrollo y provisión de soluciones ambientales en América Latina, con base en un crecimiento sostenido y sustentable.

Misión: Minimizar y/o eliminar impactos ambientales generados por la actividad humana y al mismo tiempo, valorizar los residuos producidos por la misma, ofreciendo a la sociedad nuevos recursos, de manera que tanto ella, como el ambiente, puedan prosperar de manera equilibrada.

Valores:

- Sustentabilidad: Ambiente; Seguridad; Mejora Continua; Resultados.
- Trabajo: Esfuerzo; Compromiso; Desarrollo del Capital Humano.
- Colaboración: Equipo; Cooperación; Compartir.
- Innovación: Iniciativa; Transformación; Progreso.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

El área de interés para la realización del proyecto de expansión, dentro de los centros de disposición final que actualmente maneja la empresa, es el Centro de Disposición Final Norte III. El complejo se ubica sobre el Camino del Buen Ayre en el partido de San Martín, Buenos Aires. Desde su inicio, se ha dividido el complejo en tres etapas dos de las cuales actualmente se encuentran en etapa de post-cierre y una, la de interés, que todavía está en funcionamiento.

El módulo III C comenzó a operar en marzo de 2008 y se encuentra en funcionamiento hasta la actualidad. La superficie que abarca es de 100 hectáreas, con una capacidad de 18,6 millones de toneladas. Inicialmente, brindaba servicios a 27 municipios, pero actualmente ya opera con los residuos de 34 municipios de Gran Buenos Aires y Capital Federal.

Dentro del módulo III C existen otras instalaciones complementarias al tratamiento de residuos, entre ellas la planta de Compostaje, planta de procesamiento de neumáticos, plantas de separación y clasificación de residuos, el Parque Temático y la planta de generación eléctrica a partir de biogás.

Actualmente se encuentra en etapa de preparación el módulo III D, lo que significa que en los próximos años se seguirá expandiendo la capacidad receptiva de residuos. Es en este módulo en el cual vamos a enfocar el trabajo, trabajando la expansión de la usina como la instalación de una nueva planta en las cercanías de la ya existente para intentar aprovechar las instalaciones ya existentes.



Figura 1.1.1.1. Mapa de la ubicación de lugar. Fuente: CEAMSE (2011).

La Usina Eléctrica del Buen Ayre comenzó a funcionar en el año 2009. La central fue posible por la licitación convocada por Enarsa en el marco del Plan de Generación Eléctrica a partir de Fuentes Renovables (GENREN). La obra duró 10 meses y necesitó de una inversión de 150 millones de pesos, fue aprobada por CAMMESA luego de pasar las pruebas y requisitos de esta. La potencia instalada de la Usina es de 11,8 MW.

1.1.2 Tratamiento de desechos urbanos

Las formas de vida actuales dan lugar a la producción y acumulación de basura: un habitante promedio produce alrededor de 1 kg de basura por día. El desmesurado crecimiento del volumen de los residuos de la sociedad está poniendo en peligro el medioambiente y a las especies que habitan en él. Una posible solución a este problema es clasificación y revalorización de los desechos urbanos, acompañado con ello a la utilización de rellenos sanitarios: confinación de basura en un área estrecha reduciendo el volumen de esta lo máximo posible.

Una vez que los residuos son enterrados, los componentes orgánicos contenidos en ellos comienzan un proceso de descomposición anaeróbica que genera metano. Este gas (denominado biogás) puede recolectarse y utilizarse como combustible para la producción de energía.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

1.1.3 ¿Qué es el Biogás?

El biogás es un combustible que se obtiene por descomposición de material orgánico en ausencia de oxígeno. Su composición depende del origen del material orgánico y del método utilizado para obtenerlo. Los valores normales se encuentran entre 40 y 60% de gas metano (CH₄), entre 20 y 40% de dióxido de carbono (CO₂) y en cantidades menores al 20% de compuestos como nitrógeno, monóxido de carbono, hidrógeno e impurezas, entre otros. Ejemplos de materia prima para la obtención de biogás son las heces de animales y los residuos orgánicos (biomasa). Este gas puede ser recolectado y usado como combustible y así disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola y produciendo energía.

El poder calorífico del biogás oscila entre los 18,8 y 23,4 MJ/m³. Se vincula a la cantidad de gas metano presente, ya que este es el compuesto que le da su valor energético. Este es considerablemente inferior al poder calorífico del gas natural, que oscila entre los 34,7 y los 38,9 MJ/m³.

1.1.4 Introducción del proceso de producción de energía

La fuente de energía propuesta usa como materia prima el biogás liberado por los residuos sólidos urbanos. Estos son ingresados al CEAMSE diariamente a través de camiones provenientes de distintos municipios de GBA y CABA. Luego, a través de plantas intermedias de clasificación y separación de residuos, se logra recuperar residuos sólidos urbanos para su posterior reciclaje. De esta forma, se logra reducir la cantidad de residuos que se colocan en el relleno sanitario y alargar su vida útil.

Los desechos orgánicos son llevados a los rellenos sanitarios. Para la construcción de los rellenos se deben tener en cuenta diversas condiciones como son la topografía, la disponibilidad de tierra para cubrir los desechos y el nivel de las aguas subterráneas. Los rellenos son diseñados para evitar la contaminación del subsuelo, por lo que en el fondo de la zona elegida se aplica un procedimiento de impermeabilización a través de arcillas y luego se coloca una membrana plástica de polietileno. Sobre esta capa se coloca un sistema de captación de los líquidos lixiviados que la misma basura genera con el tiempo. Estos líquidos son ingresados en una planta existente en el predio para su posterior tratamiento y recuperación.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

El tipo de relleno sanitario utilizado en este caso es en forma de trinchera, donde se realizan zanjas de 2 a 3 metros de profundidad en las cuales se arroja la basura en forma de montaña y se la compacta llevándola al menor volumen posible para luego ser recubiertas por la misma tierra que se obtuvo por la excavación.

Una vez que los residuos son depositados y compactados comienza el proceso natural de producción de metano y otros gases a partir de bacterias anaeróbicas que consumen el material orgánico. Este proceso no es constante durante el tiempo: existe una curva de producción que alcanza su máximo alrededor del quinto año de funcionamiento.

Para la extracción del gas se realizan pozos distribuidos en forma estratégica y se colocan tubos perforados rodeados de un material permeable al gas, pero que al mismo tiempo evita el ingreso de basura al tubo. Estos son conectados a una tubería central mediante mangueras que además cuentan con condensadores que disminuyen el líquido lixiviado transportado y lo inyectan a la red de tratamiento.

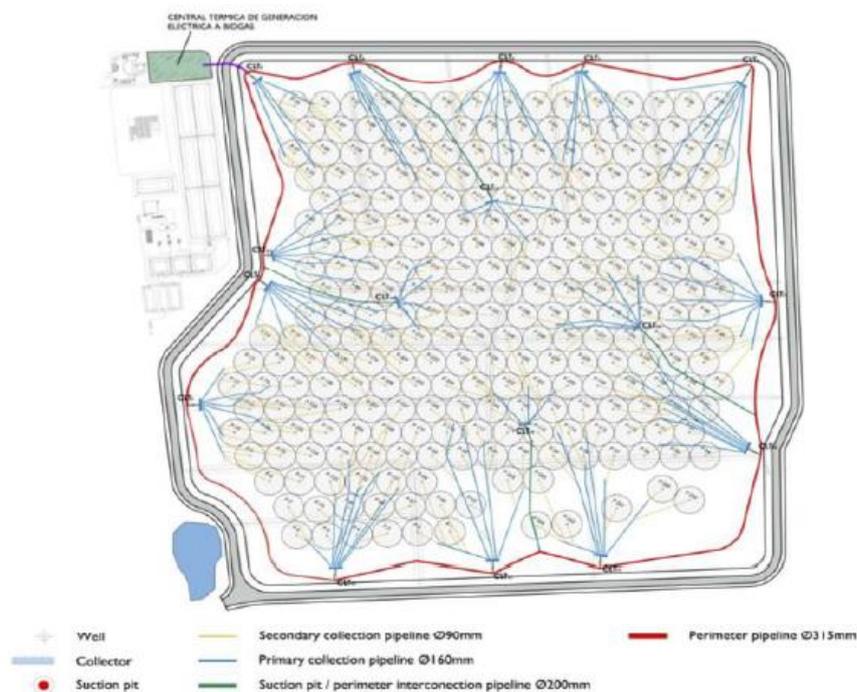


Figura 1.1.4.1. Ubicación de pozos y conexiones.

En el módulo III C, el biogás es impulsado desde los pozos hasta la planta por medio de tres sopladores de 250 HP que lo succionan y lo entregan a la red a la presión y el caudal requeridos. La central lo capta en una composición de aproximadamente 50% dióxido de

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

carbono y 50% de gas metano; este último se considera 21 veces más dañino que el dióxido de carbono en términos de calentamiento global.

Antes de entrar a la usina, el biogás ingresa a una última cámara de condensado donde se separan los líquidos lixiviados que lo acompañan y evitar así dañar a los equipos. En caso de un excedente en la producción, el gas es combustionado a través de dos quemadores que transforman el metano en dióxido de carbono según lo establece el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto. Este proceso se lleva a cabo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una vez que el gas fue separado de los líquidos, ingresa a un enfriador donde se disminuye su temperatura. Este puede alcanzar altas temperaturas debido a la compresión y especialmente durante el verano. Seguido a esto, la corriente del fluido pasa a través de un separador ciclónico donde se retiran demás partículas sólidas y líquidas. Partículas más pequeñas son eliminadas posteriormente mediante un filtro coalescente con cartuchos de fibra de vidrio de borosilicato. Una última etapa de filtración se realiza mediante un sistema de remoción de siloxanos, donde se eliminan compuestos orgánicos con silicio perjudiciales para los motores.

Luego del pretratamiento y purificación del gas, este ya se encuentra en condiciones para ingresar a los motores de combustión y generar energía. Actualmente, la usina cuenta con seis moto-generadores a biogás de 20 cilindros cada uno, que juntos suman una potencia bruta total de 11,8 MW. Estos motores entregan un voltaje de salida de 400 V que es elevado a 13,200 V mediante transformadores.



Figura 1.1.4.2. Proceso productivo. Elaboración propia.

La energía llega hasta el sector del sistema de medición que cuenta con equipos aprobados por el Sistema de Medición de Energía Comercial (SMEC) y gestionados y monitoreados por CAMMESA. A partir de aquí, la energía es exportada hasta la subestación Rotonda

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario (propiedad de EDENOR) a través de un electroducto subterráneo. La capacidad instalada actual permite abastecer alrededor de 17.000 viviendas.

En el caso de la nueva planta que se analiza instalar, se considera que el proceso será muy similar en cuanto a equipamientos, pero dicho análisis se realizará de manera más extensa en la etapa de ingeniería en donde se define el equipamiento necesario.

1.1.5 Biogás en Argentina

En Argentina, la instalación de plantas generadoras de biogás está en proceso de crecimiento. Un sondeo realizado en 2015 indicaba que existían entre 60 y 80 pequeñas plantas de biogás en funcionamiento en el país incluyendo a mini-biodigestores o mini-lagunas cubiertas de consumo domiciliario, aunque menos del 25% de ellas correspondían a grandes instalaciones. Un total de 37 proyectos de biogás (no específicamente obtenido a partir de relleno sanitario) fueron adjudicados por el Programa RenovAr entre las rondas 1 y 2. Estos están distribuidos en Tucumán, Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe, San Luis, La Pampa y Buenos Aires con potencias instaladas de entre 1 y 2 MW totalizando 65 MW.

El CEAMSE cuenta con dos Centrales de Generación de Energía emplazadas dentro del Complejo Ambiental Norte III, una de las cuales está a cargo de la empresa en estudio y otra a cargo de Secco RenovAr S.A. con una potencia instalada de 7,1 MW. La usina del Buen Ayre de Tecsan es la planta de mayor potencia instalada en el país con 11,6 MW.

Para lograr el objetivo del 20% de uso de energías renovables en el país para el 2025, el Banco Mundial aprobó en 2017 un total de US\$ 480 millones como garantía para promover la inversión privada en el sector. Por esto, se prevé una expansión en la oferta de energías renovables en los próximos años.

1.1.6 Análisis de las 5 fuerzas de Porter

A la hora de analizar la situación en la cual se encuentra la empresa dentro del mercado, una herramienta que resulta muy útil es el análisis de las 5 fuerzas de Porter. El mismo consiste en un modelo estratégico a través del cual se determina la fuerza o influencia de la competencia, los proveedores, los clientes, los nuevos entrantes y los sustitutos. Este

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

análisis se realiza para analizar el nivel de atractivo de la industria para detectar oportunidades de inversión y rentabilidad.

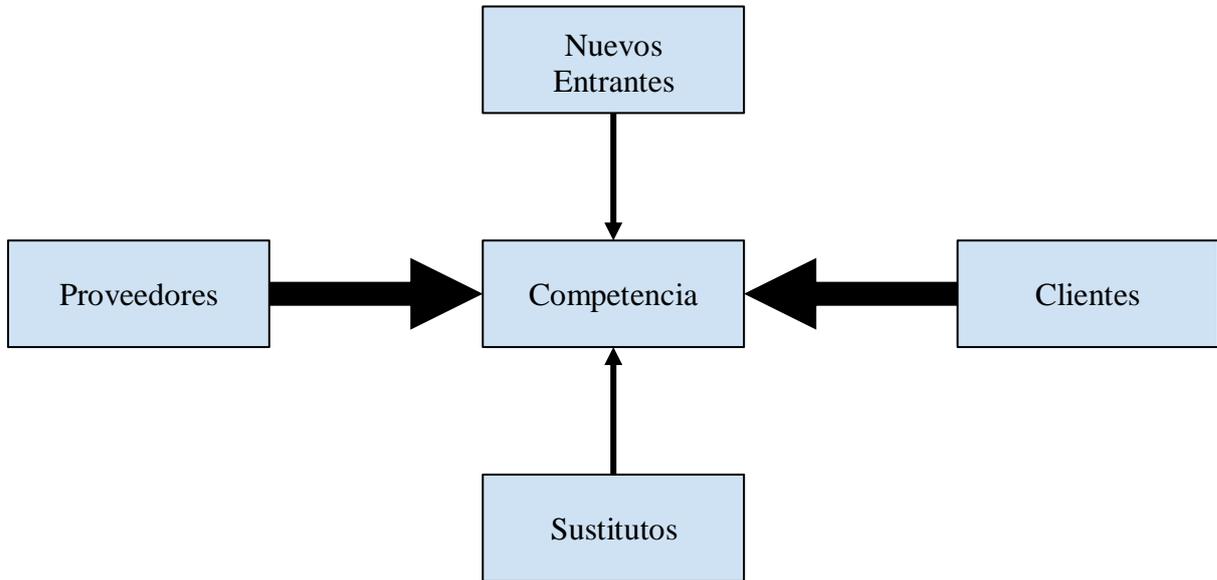


Figura 1.1.6.1. Diagrama de las 5 fuerzas de Porter.

1.1.6.1 Proveedores

En lo que respecta a los proveedores, se diferencia por un lado la materia prima, es decir los residuos a partir de los cuales se obtiene el biogás, y por otro lado la maquinaria y lo relacionado a su mantenimiento.

En primer lugar, el biogás utilizado proviene del relleno sanitario perteneciente al CEAMSE. A partir de un contrato con el CEAMSE, la empresa tiene asegurado el acceso a los residuos que recibe el Complejo Ambiental Norte III C hasta el año 2030.

La expansión a considerar en este proyecto se centra en el Módulo III D. Si bien se debe realizar una licitación para conseguir el derecho a la explotación de dicho terreno, se toma como suposición que la empresa ya tiene el derecho a trabajar para poder realizar un análisis más completo del proyecto. Sin embargo, obtener esta licitación es de gran importancia ya que en caso de no conseguirla el acceso a la materia prima se dificulta. Esto significa que el proveedor tiene gran peso debido a que sin el permiso, no es viable la realización del proyecto.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En lo que respecta al servicio de mantenimiento de la maquinaria, en un inicio se tercerizaba el mantenimiento, pero en los últimos tiempos se desarrolló un proyecto interno de capacitación a los empleados para no depender de terceros y poder realizar el mantenimiento cuando sea deseado. Debido a esto se puede considerar que con respecto al mantenimiento de la maquinaria no es tan fuerte debido a que su peso bajo en los últimos tiempos

1.1.6.2 Clientes

El principal cliente es CAMMESA, encargado de recolectar y distribuir la energía generada por distintas empresas de generación. Sin embargo, también se puede ingresar en el MATER donde los clientes son empresas/industrias con las cuales se hacen contratos individuales.

En primer lugar, consideramos a CAMMESA como un cliente fuerte. Esto se debe a que, al ser el encargado de recolectar y distribuir la energía desde las generadoras a los distribuidores, es quién decide de donde tomar la energía y de donde no. Además, es el encargado de la selección de las licitaciones dadas a través del programa RenovAr.

En segundo lugar, dentro del MATER, los clientes tienen una fuerza fuerte. A pesar de que las regulaciones obligan a los grandes usuarios a que parte de su consumo provenga de fuentes renovables (un 20% hacia el año 2025) estas no especifican a qué tipo de fuente. Dado que la energía a partir de biogás de relleno sanitario tiene un mayor precio que otras energías renovables los grandes usuarios pueden elegir cumplir con la regulación a partir de fuentes más económicas.

1.1.6.3 Competencia

A la hora de analizar la competencia, se deben tener en cuenta varios aspectos. Por el lado de generación de energía, existen muchas empresas dedicadas a la generación, y considerando que actualmente la planta tiene una potencia instalada de 11,8 MW, es un valor relativamente chico comparado con la oferta en Argentina, la cual llega a tener una potencia instalada mayor a 38000 MW.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se podría comparar con las plantas de generación de energía a partir de fuentes renovables, donde su porcentaje de participación es mayor, o incluso comparar la propia producción con las de las otras plantas dedicadas a la generación a partir de biogás proveniente de rellenos sanitarios. Dentro de este rubro de energías renovables, el costo y como consecuencia el precio al que se vende es bastante alto comparado con las otras fuentes renovables. Es por esto que se considera una fuerza fuerte ya que, si no fuera porque existe una obligación de parte de las empresas a aumentar el consumo de energía de fuentes renovables, CAMMESA elegiría antes las opciones más económicas.

Otra competencia que es relevante es aquella conformada por los proyectos de biogás a partir de relleno sanitario que se presenten en la ronda RenovAr. La potencia adjudicada por ronda a cada energía es limitada, por ende, en caso de que los precios presentados por la competencia sean menores a los propios se puede perder la licitación. En dicho caso, se debe intentar acceder al MATER donde los precios son menores y donde se compite con el resto de las energías renovables.

Además, se debe considerar la competencia por la materia prima, la cual se otorga a partir de licitaciones. En caso de perder dicha licitación sería un problema muy importante debido a la pérdida del acceso a la materia prima, por lo que la competencia en las licitaciones tiene una importancia muy elevada.

Por todas estas razones, la competencia es una fuerza muy fuerte.

1.1.6.4 Nuevos entrantes

En lo que respecta los posibles nuevos entrantes, se divide lo que serían nuevos proyectos de generación, ya sean de energías renovables o de biogás, dependiendo del mercado al que se busque acceder.

En caso de competir en el mercado renovable en general, la generación a partir de biogás de relleno sanitarios requiere una baja inversión inicial por lo que es una ventaja en comparación con otros tipos de energía.

Si se focaliza en proyectos de biogás de relleno sanitario exclusivamente, si bien se tiene los mismos costos para ingresar, el acceso al *know how* es muy difícil para aquellos que no están en el mercado. Además, se le suma el hecho que se debe conseguir el acceso a

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

la materia prima a través de licitaciones por lo que es una fuerza relativamente débil en comparación con las otras.

1.1.6.5 Sustitutos

Actualmente existen diferentes maneras de producir energía, y debido a la demanda creciente y el interés por diversificar la matriz, no parece ser un problema seguir invirtiendo en diferentes alternativas. Un sustituto posible es la utilización de los residuos sanitarios en otros métodos de generación de energía resultando estas otras más productivas que la generación a partir de descomposición anaeróbica. Este es el caso de la incineración de los desechos, lo que se realiza en países de Europa y cuyo residuo (cenizas) es utilizado en lugares como el asfalto de las calles. En Argentina esto no parece ser muy cercano debido a que es un método que requiere una inversión inicial mucho mayor a la alternativa planteada por Tecsan.

En estos países, donde la incineración de basura es utilizada para la obtención de energía o para reciclado de materiales, existe un mercado de gestión de residuos. En él se clasifican los residuos según su tipo (municipal, industrial o peligrosa) o según el servicio que se está brindando (recolección o gestión). En nuestro caso, el mercado de gestión de residuos es el de interés. Por ejemplo, en países como Noruega y Suecia se importan residuos de Gran Bretaña para producir energía.

La principal diferencia que existe entre estos dos modelos es la repercusión en el medio ambiente. En la incineración el CO₂ liberado es menor. Sin embargo, en el segundo caso se está evitando la liberación de gas metano a la atmósfera para convertirla en CO₂ (menos perjudicial que el gas metano), gas que contribuye al efecto invernadero.

1.2 MERCADO ELÉCTRICO ARGENTINO

1.2.1 Comercialización de la energía

En Argentina el mercado eléctrico se divide principalmente en tres sectores: generación, transmisión (vinculan los generadores de energía con las distribuidoras o grandes usuarios) y distribución. Los consumidores por su parte se dividen en Grandes usuarios y usuarios finales. La diferencia de estos dos radica en que los grandes usuarios pueden

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

comprar la energía directamente de las generadoras o las distribuidoras mientras que los usuarios finales sólo pueden comprar la energía a las distribuidoras.

El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) es administrado por CMMESA (empresa privada) y es donde convergen la oferta y la demanda. Dentro de este mercado se encuentran distintas modalidades de mercado:

- Mercado a término: es un contrato entre un generador y un distribuidor o gran usuario, siendo el precio establecido de forma conjunta. Se determinan las condiciones siendo sancionado aquella parte que no cumpla con sus responsabilidades. Los precios se acuerdan libremente. Dentro de esta modalidad, existe otro mercado exclusivo para energías renovables: el mercado a Término de Energías Renovables (MATER), desarrollado más adelante.
- Mercado spot: en donde se negocia aquellas unidades de energía que no llegaron a contratarse en el mercado a término. El ingreso de máquinas para abastecer la demanda se hace con un orden prioritario de costos, es decir, entran en servicio primero las más económicas hasta cubrir la potencia más la reserva y las que no son requeridas quedan sin operar. En este se distinguen dos tipos de precios:
 - Precio spot horario: en años anteriores, estos eran establecidos por hora con el costo necesario para abastecer la próxima unidad de energía demandada. Era el precio que se pagaba a los generadores de electricidad y al que debían pagar los grandes usuarios (GUMAS) se les sumaban distintos cargos. Sin embargo, el método de remuneración ha cambiado, fijándose un precio según la fuente de energía, y haciéndose cargo del costo de los combustibles CMMESA. La resolución 1/2019 del MINISTERIO DE HACIENDA SECRETARÍA DE RECURSOS RENOVABLES Y MERCADO ELÉCTRICO, establece en el Anexo 2 los precios pagados a las generadoras no convencionales. En el mismo se detalla: “La energía generada por Centrales de Generación que funcionan a partir de fuentes energéticas no convencionales (GHR) se le reconocerá por su energía generada un Precio de Energía No Convencional (PENNC) establecido en 28 U\$S/MWh”. Este pago se realizará para aquellas potencias que no estén comprometidas con un contrato.
 - Precio estacional: este precio se establece de acuerdo con lo que se espera que sean los costos de generación para ese periodo. Los distribuidores compran la energía a ese precio, las diferencias con respecto a los precios reales que se produjeron en el mercado spot se cargan al período siguiente mediante un fondo de estabilización. Este mercado es necesario para poder restar volatilidad al precio que pagan las distribuidoras, y por lo tanto los usuarios pequeños como los residenciales.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

1.2.2 Comercialización de la energía renovable

Bajo la Ley 27.191, se abren nuevas posibilidades para la comercialización de energías renovables en el país.

Esta ley impulsa la producción y utilización de energías provenientes de fuentes renovables. El objetivo de esta ley es diversificar la matriz energética Argentina, puesto que la misma depende en gran medida de las fuentes de energías convencionales.

La ley establece que para 2025 se llegue a abastecer la demanda de todos los usuarios en al menos un 20% con energías renovables, siendo este aumento progresivo a lo largo de los años.

2017 – 2018	2019 – 2020	2021 – 2022	2023 – 2024	Desde 2025
8%	12%	16%	18%	20%

Tabla 1.2.2.1. Porcentajes de energías renovables. Fuente. CAMMESA.

En el artículo 9 se establece que los grandes usuarios (se los define como grandes usuarios habilitados GUH y son aquellos con consumos mayores a 300 kW de potencia media en el año calendario anterior al corriente) deberán contribuir a dicho objetivo consumiendo energía de fuentes renovables en al menos la proporción establecida para ese período. Los grandes usuarios deberán cumplir con esto de tres posibilidades distintas: a través de la compra conjunta de energía renovable (administrada por CAMMESA bajo el programa RenovAr), mediante la autogeneración de energía o mediante la compra a un generador de energía a partir de fuentes renovables. Las características particulares de estas tres opciones se amplían en el anexo.

1.2.3 Programa RenovAr

El programa RenovAR fue lanzado por el Gobierno en el año 2016 con el objetivo de fomentar la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. La meta del programa es lograr alcanzar en el año 2025 que la generación energética del país se conforme en un 20% de energías renovables. Estos proyectos son los que abastecen a los usuarios finales y los GUH que decidan permanecer bajo el régimen de compras conjuntas administradas por CAMMESA.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Las energías renovables son aquellas fuentes que se caracterizan por no usar combustibles fósiles, como las fuentes de energía convencional, en cambio utilizan recursos que son capaces de renovarse ilimitadamente. Entre estas podemos encontrar: solar, eólica, geotérmica, biogás, biocombustibles, entre otros.

Hasta la actualidad, se han desarrollado 4 rondas del Programa RenovAR cuatro de las cuales ya han terminado su proceso de selección (rondas 1, 1.5 y 2) y la última, la ronda 3 la cual fue lanzada en noviembre de 2018.

1.2.4 Red de conexión eléctrica argentina

A partir de la sanción de la Ley 24.065 el sistema eléctrico en la Argentina se divide en tres segmentos independientes:

- Generación
- Transporte
- Distribución

La generación de energía eléctrica se realiza en las plantas generadoras o usinas eléctricas que se encuentran distribuidas en todo el país, incluyen generación térmica a partir de combustibles fósiles, eólica, hidroeléctrica, entre otras. En su mayoría estas son operadas por empresas privadas, a excepción de la energía nuclear que están totalmente en manos del estado a través de Nucleoeléctrica Argentina S.A.

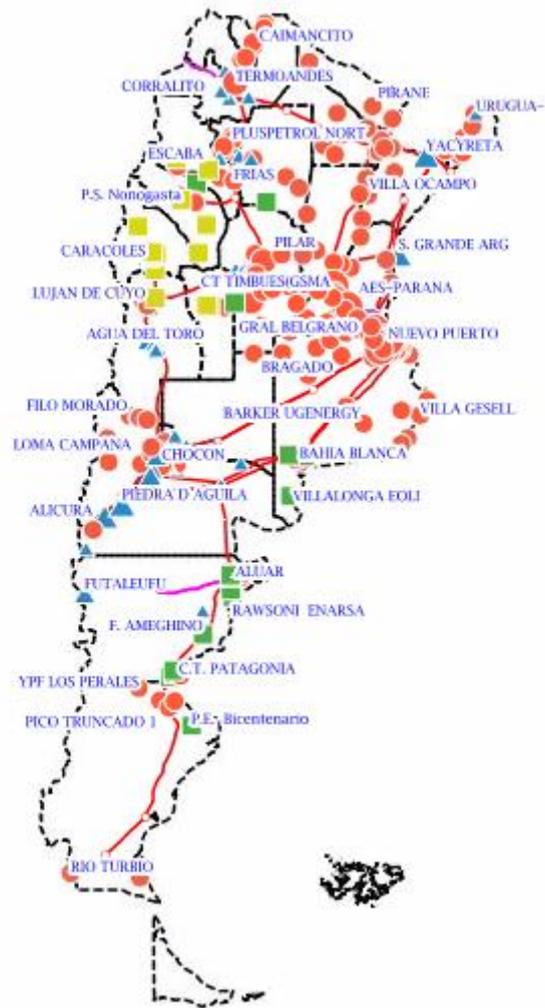


Figura 1.2.4.1. Red de interconexión. Fuente: SADI.

El transporte se realiza a través del Sistema Argentino de Interconexión (SADI), encargado de recolectar y transportar la energía eléctrica en todo el territorio nacional. Antiguamente se lo denominaba Sistema Interconectado Nacional (SIN).

A través del SADI la energía generada en las usinas puede transportarse a cualquier lugar del país, desde el norte hasta el sur gracias a las obras que finalizaron en 2013 y permitieron unir la Patagonia al sistema nacional. Dentro del SADI se pueden encontrar dos subsistemas, el Sistema de Transporte de Energía Eléctrica de Alta Tensión (STAT) y el Sistema Troncal (ST). El primero de estos permite el transporte de energía de una región a otra mediante líneas de alta tensión que operan a tensiones iguales o mayores a los 220kV (representadas en rojo en la imagen a continuación), ya que con estas se reducen las pérdidas por efecto Joule.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

El STAT se encuentra operada por Transener, Compañía de Transporte de Energía Eléctrica en Alta Tensión.

El segundo subsistema, el Sistema Troncal, permite el transporte dentro de la región entre generadores y distribuidores. Las líneas son de tensiones entre los 132kV y los 400kV y están operadas por distintas compañías según la región, en Buenos Aires y AMBA el sistema troncal se encuentra bajo el cargo de TRANSBA.

Por último, los distribuidores son aquellos que se encargan de abastecer la demanda de los usuarios finales que no pueden realizarlos por sus propios medios.

1.3 OFERTA

1.3.1 Potencia instalada en Argentina

La potencia instalada viene creciendo en Argentina desde 1976 prácticamente todos los años salvo algunos en particular. Este crecimiento es el que llevo la capacidad de producción de energía de 7880 MW en 1976 a 38000 MW en 2018.



Figura 1.3.1.1. Potencia instalada en Argentina. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Históricamente, del total de potencia instalada, la mayoría proviene de fuentes no renovables, siendo la generación térmica la predominante (representa en promedio entre

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

1976 y 2012 un 57% de la matriz). A continuación, se puede observar la evolución en el tiempo de la potencia instalada a partir de las diferentes fuentes.

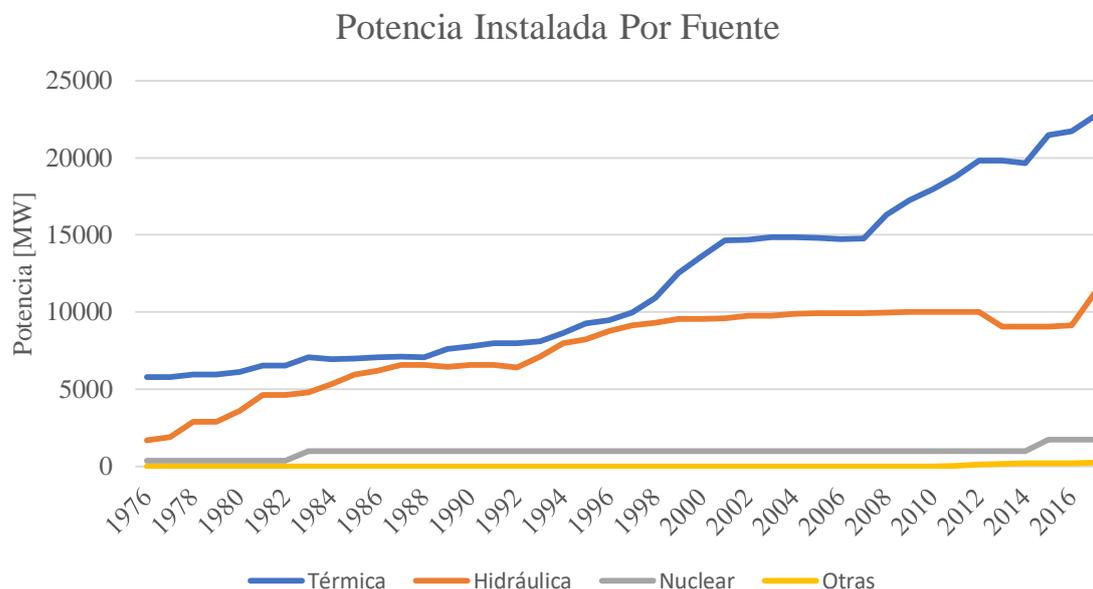


Figura 1.3.1.2. Potencia instalada por fuente. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Como se puede ver, las centrales de base representan la mayoría de la matriz, siendo las de mayor importancia las centrales térmicas y luego las hidráulicas. El crecimiento de las centrales nucleares no lleva el mismo ritmo que las dos mencionadas anteriormente. Se puede observar que el comportamiento de esta es constante con unos escalones, los cuales representan la instalación de nuevas centrales como el caso de Atucha II en 1982 y Embalse Río Tercero en 1983. Por último, en la categoría de “Otras” predominan los parques eólicos y solares, con una baja participación y donde está incluido la generación de energía a partir del biogás producido en rellenos sanitarios.

Actualmente la potencia instalada en Argentina es de alrededor de los 38000 MW. La mayoría de esta potencia es representada por fuentes de generación térmica, en las cuales encontramos Turbinas de Gas y de Vapor (TG y TV), Ciclos Combinados y Diesel.

Estas cuatro representan más del 60% de la potencia instalada actualmente, representado históricamente en promedio el 58%.

Potencia Instalada Distribución por Tecnología [MW]

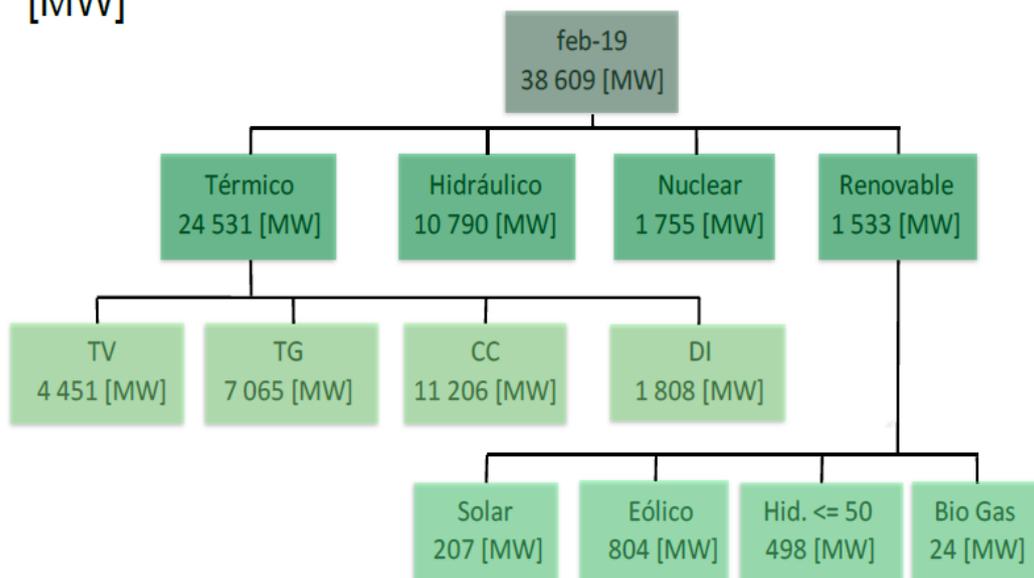


Figura 1.3.1.3. Potencia instalada. Fuente: CAMMESA.

Como se puede observar, la producción de biogás solo representa el 0,06% de la potencia instalada. Sin embargo, al conseguir la licitación se puede considerar como energía de base (debido a la prioridad de despacho), y al tratarse de una fuente renovable que utiliza como insumo principal los residuos, su producción tiene un gran atractivo.

1.3.2 Generación de energía en Argentina

La potencia instalada no es coincidente con la generación de energía. La generación de energía depende de la demanda, la cual se busca abastecer en todo momento. Dada esta condición, se pueden categorizar dos tipos de fuentes de energía: energías de base y de punta. Las de base son las que generan energía a un ritmo constante (son más baratas o interrumpir su generación es costoso, por lo que son las que funcionan la mayoría del tiempo) mientras que las de punta son las que generan energía cuando hay un cambio en la demanda y es preciso aumentar la generación de energía (estas no producen a un ritmo constante pues son más caras). También existe la importación de energía. En Argentina el balance energético de exportación-importación fue, en la mayoría de los casos, desfavorable.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

La generación en Argentina viene en aumento desde 1992, al igual que la potencia instalada analizada anteriormente, como se puede ver en el gráfico siguiente:

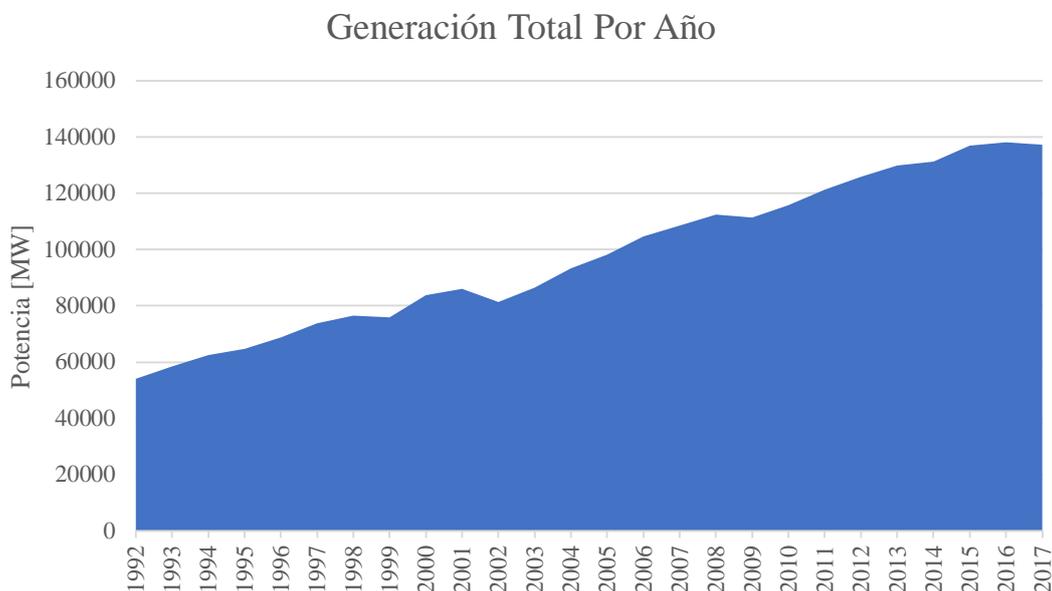


Figura 1.3.2.1. Generación total por año. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Al año 2017, la matriz energética en Argentina estaba compuesta de la siguiente manera:

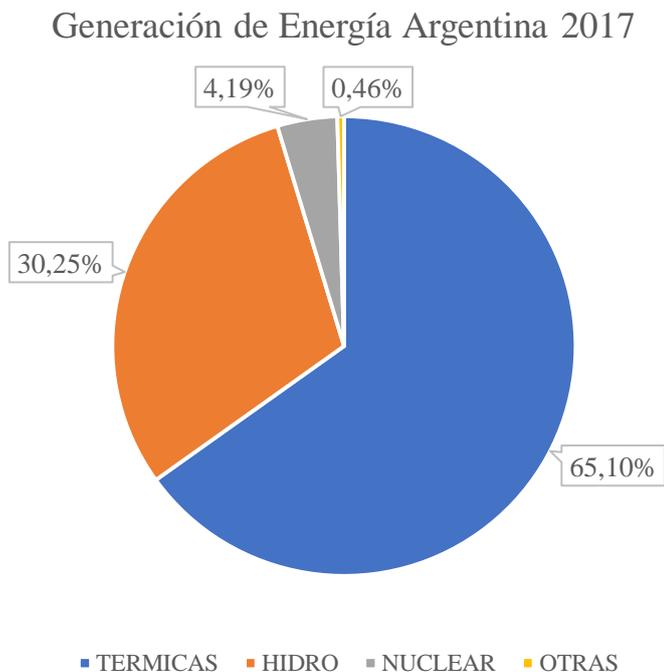


Figura 1.3.2.2 Generación energética argentina. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Es claro que en el año 2017 predominaron las energías producidas por fuentes térmicas e hidráulicas. Esta tendencia se respalda en los datos obtenidos en el gráfico siguiente.

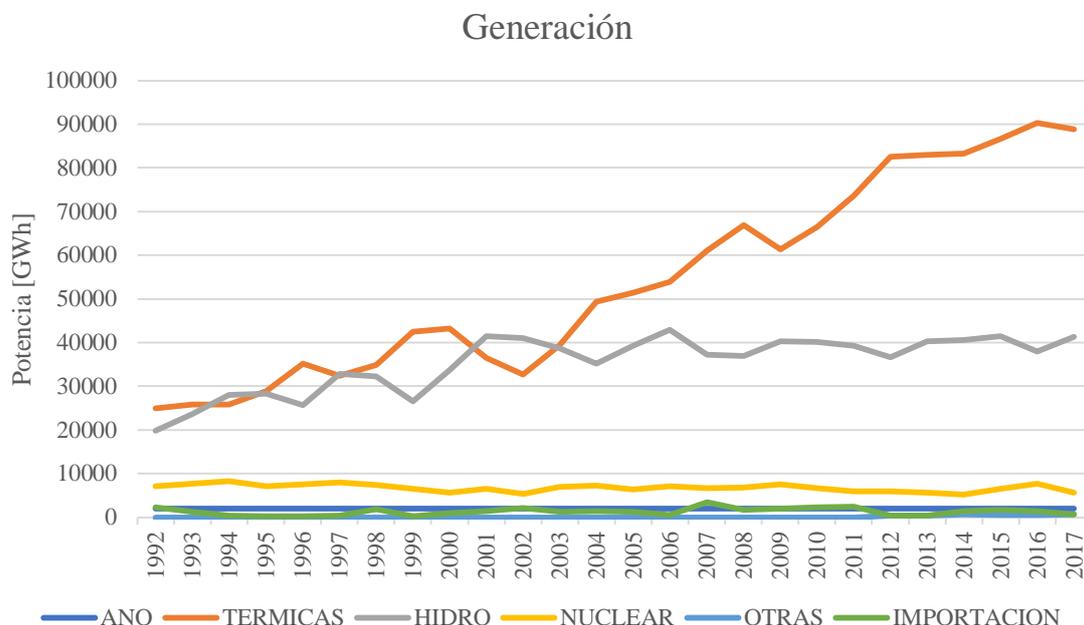


Figura 1.3.2.3 Generación por tecnología. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Esto se debe a que las centrales térmicas y las centrales hidráulicas son “centrales de base”. Estas centrales de base son destinadas a suministrar la mayor parte del consumo de forma continua.

Estas proporciones no son beneficiosas para la Argentina, puesto que las fuentes están poco diversificadas, haciendo que la volatilidad de los insumos de las centrales térmicas influya fuertemente en el precio de la electricidad.

A su vez, se puede comparar con el gráfico de potencia instalada y así se puede notar que como se mencionó previamente, la generación y la potencia instalada no son coincidentes, sino que se encuentran afectados por la demanda del momento.

Otro detalle que cabe destacar es que las energías renovables están lejos de poder alcanzar sus objetivos mencionados en el apartado de Mercado Eléctrico, establecido por la Ley 27.191. Esta ley, sancionada en el 2015, se sancionó para fomentar la generación eléctrica a partir de fuentes renovables. El objetivo al que se debía llegar era abastecer para el año 2017/18 un 8% con estas fuentes, aumentando sucesivamente a 12% en 2019/20, 16% en

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

2021/22, 18% en 2023/24 y 20% en 2025. Según datos de CAMMESA, la generación de energía a partir de estas fuentes está muy por debajo, como se muestra en la siguiente figura:

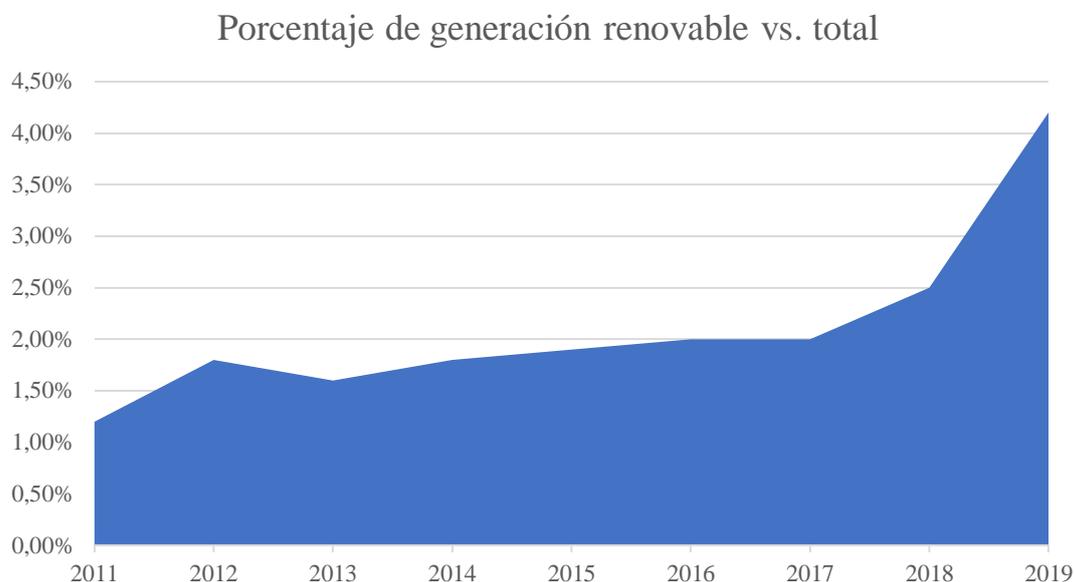


Figura 1.3.2.4. Porcentaje de generación renovable vs total. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

1.3.3 Potencia instalada de energías renovables

A partir de los datos obtenidos de los informes de CAMMESA, se elaboró una evolución de la potencia instalada en base de energías renovables. Se destaca que las fuentes renovables consideradas son la energía solar, eólica, geotérmica, biogás y centrales hidroeléctricas de menos de 50 MW. En un

Para ello se tomó como inicio del período a analizar el año 2009, año en el cual se introdujo el programa GENREN para la promoción de las energías renovables. Los valores previos a ese año eran muy bajos ya que no existía ningún tipo de incentivo para que se desarrollaran las mismas. Sin embargo, el programa GENREN fue un fracaso habiéndose construido menos del 10% de los 895 MW que fueron licitados. Recién en el 2016 se realizó la ronda 1 y 1,5 de RenovAr, y desde entonces el país se encuentra en un período de ampliación y diversificación de la matriz energética. En el siguiente gráfico se puede observar como en el 2018 se ve un crecimiento repentino, el cual se debe a la finalización de la puesta en marcha de los primeros proyectos aprobados en RenovAr:

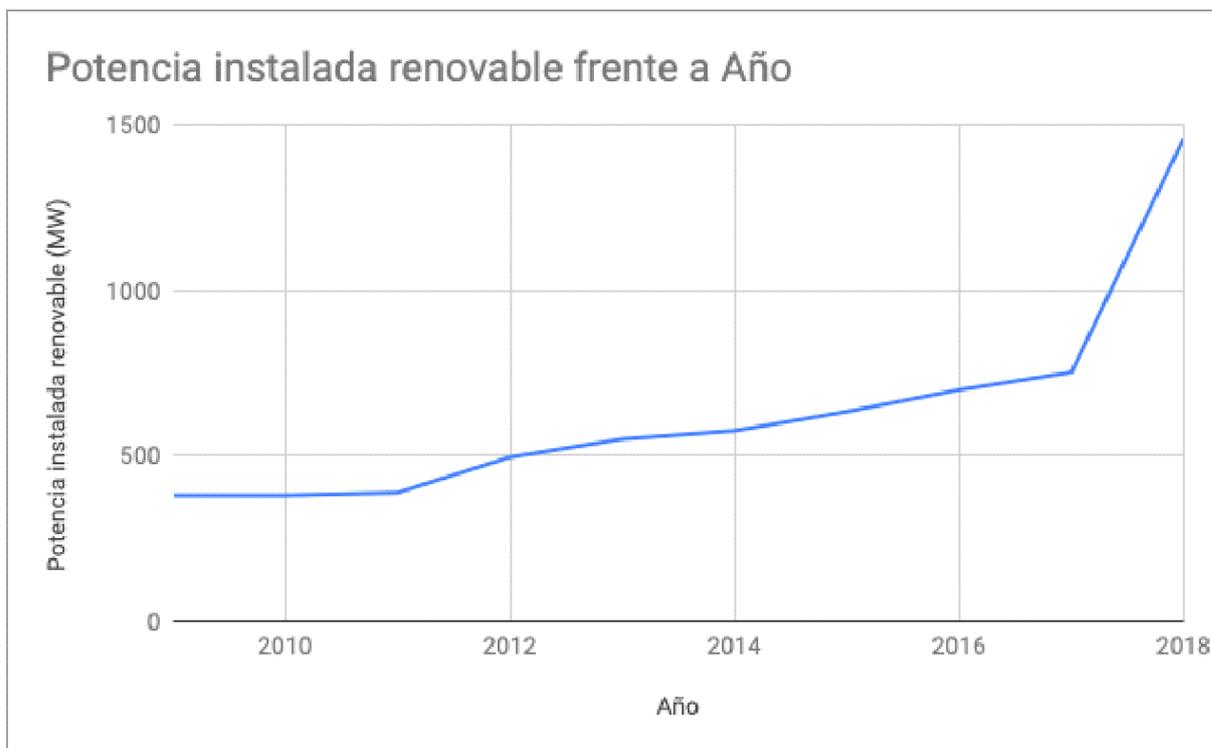


Figura 1.3.3.1. Elaboración propia en base a CAMMESA.

Cabe destacar que el programa RenovAr cuenta con una serie de cláusulas en las cuales en caso de que no se cumpla con la realización del proyecto existen una serie de multas.

Luego se decidió proyectar la potencia instalada de energías renovables hasta el año 2030. En primer lugar, a partir de los datos obtenidos de los informes mensuales de CAMMESA, se obtuvo el aumento de la potencia instalada en los primeros tres meses del año 2019. A partir de estos valores, se asumió que el crecimiento en lo que resta del año mantiene esta tendencia y así se proyectó el valor a fin del año 2019. A continuación, se tuvo en cuenta que, al mes de marzo de 2019, en Argentina se encontraban proyectos renovables en proceso de construcción por un valor de 3472 MW. Conociendo que el tiempo de construcción es variable dependiendo del tipo de fuente, se tomó como estimado que estos MW de potencia serían finalizados hacia el año 2021, con la mitad de dicha cantidad finalizada en 2020. Luego, para poder proyectar los años posteriores a 2021 se tuvo en cuenta que dado el gran éxito que fueron las rondas 1 y 1,5 de RenovAr y que los porcentajes de renovables estaban lejos de llegar al objetivo que se especifica previamente, la tendencia en los próximos años debería mantenerse a partir de nuevas licitaciones y así se tomó un crecimiento promedio del aumento año a año de la potencia

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

instalada de fuentes renovables entre 2017 y 2021 para proyectar un aumento lineal de la misma:

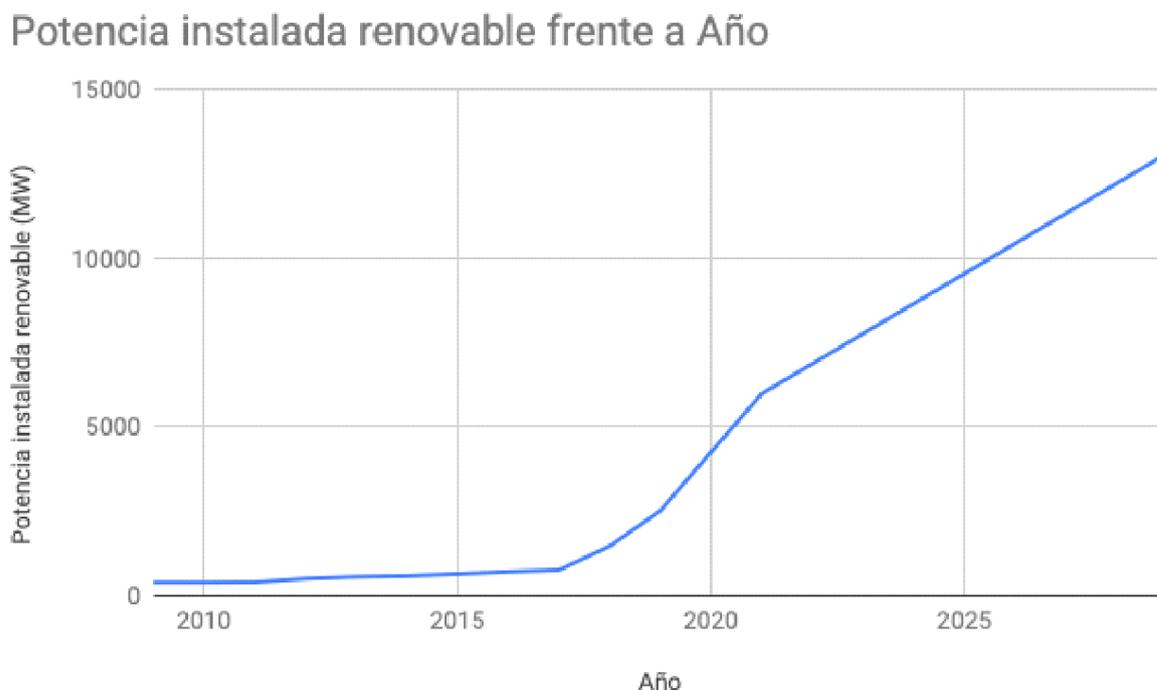


Figura 1.3.3.2. Elaboración propia en base a CAMMESA.

Una vez proyectados los valores de la potencia instalada a base de fuentes renovables, se decidió obtener una proyección de la potencia instalada total en Argentina. Para esto se proyecta la potencia instalada en función de la demanda del año previo. Luego, se compara con los valores proyectados de la potencia instalada renovable para verificar si se llega a los mínimos establecidos por la ley. Dichos resultados se pueden visualizar en la siguiente tabla:

Año	Potencia instalada renovable	Proyección potencia total	Porcentaje energías renovables sobre total	Porcentaje objetivo
2009	381			
2010	381			
2011	389			
2012	496			

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

2013	551			
2014	576			
2015	634			
2016	700			
2017	753			
2018	1462	38801	3,77%	8%
2019	2514	40600,42342	6,19%	12%
2020	4250	41515,58368	10,24%	12%
2021	5986	44543,1047	13,44%	16%
2022	6878	47670,54181	14,43%	16%
2023	7770	50582,62847	15,36%	18%
2024	8662	53206,0204	16,28%	18%
2025	9554	56048,79673	17,05%	20%
2026	10446	59344,327	17,60%	20%
2027	11338	62318,97382	18,19%	20%
2028	12230	65326,7268	18,72%	20%
2029	13122	68511,42235	19,15%	20%
2030	14014	71859,2358	19,50%	20%

Tabla 1.3.3.1. Proyección Potencia renovable.

Como se puede observar, en este período de tiempo con la proyección realizada no se estaría llegando a los valores que habían sido definidos como objetivo por parte del gobierno. Por esta razón, se puede concluir que es un mercado con gran atracción ya que hasta el año 2030 todavía se estaría por debajo del porcentaje objetivo. Esto resulta en que el gobierno pueda realizar medidas para seguir fomentando la generación de energía de fuentes renovables, como proseguir con las rondas RenovAr, u otras medidas que generan beneficios en aspectos como mayores precios o prioridades para dicho tipo de energías.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se debe destacar también que se tuvo en cuenta que si bien hoy en día la capacidad de las redes de alta tensión se encuentran bastante saturadas, ya se empezaron a realizar obras para lograr ampliar esta capacidad. En julio de 2019 se realizará una licitación que será la primera de ocho grandes obras dedicadas a este rubro. Por esta razón se tomó como supuesto que esto no es una limitación ya que se va a ir realizando obras a medida que se aumenta la potencia instalada para lograr abastecer su transporte.

1.3.4 Generación de residuos

El crecimiento constante de la población concentrada en áreas urbanas, el nivel de vida, los hábitos de consumo, los sistemas productivos, los métodos de embalaje de bienes y servicios son algunos de los factores que aumentan la generación de residuos sólidos urbanos (RSU), que no son degradables en el corto plazo. Esto representa una gran preocupación mundial, no sólo por los contaminantes que derivan de ellos, sino que también por el espacio físico necesario para su disposición final.

En el gráfico de la figura 1.3.4.1, se puede observar que el 33% de los residuos generados a nivel mundial es depositado en basurales a cielo abierto, el 11% es tratado mediante incineración, el 19% es reciclado o compostado, y alrededor del 37% es enterrado, del cual el 7,7% es dispuesto en rellenos sanitarios para obtención de biogás.

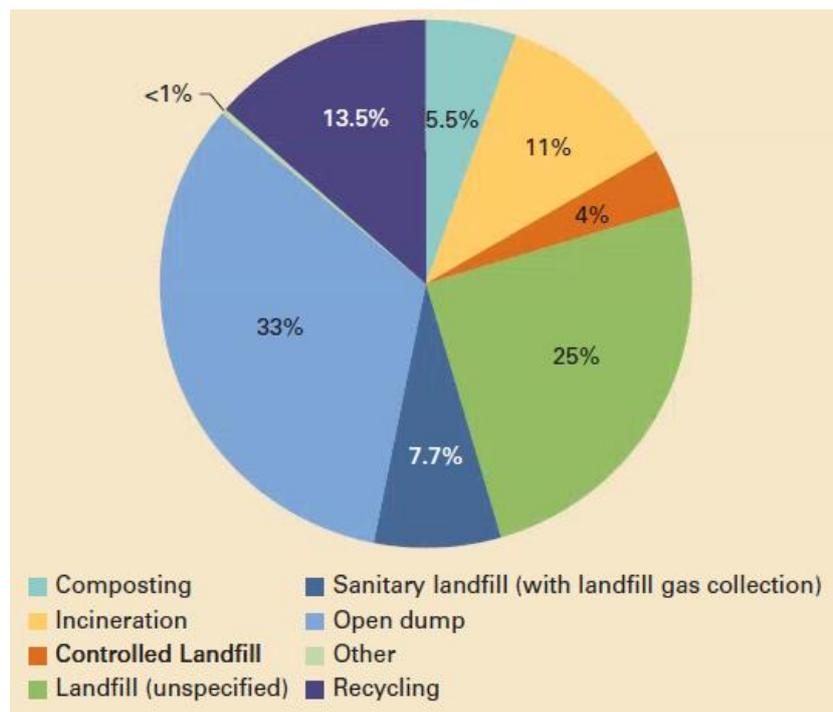


Figura 1.3.4.1. Tratamiento y disposición final de los residuos generados a nivel mundial. (World Bank Group, 2018).

El método seleccionado para tratar los residuos en cada país depende de su nivel de ingresos. A medida que un país prospera económicamente, tiende a gestionar los residuos utilizando métodos más sostenibles y en los que se deja de pensar al residuo como un desecho, para entenderlo como un recurso. En la figura 1.3.4.2 se puede observar que, a mayor nivel de ingresos, menor es el porcentaje de residuos dispuestos en basurales a cielo abierto, y mayor es el porcentaje de residuos aprovechados, ya sea por reciclado o compostado. También, la incineración es más común en los países con altos niveles de ingresos, dado que requiere del uso de tecnología avanzada.

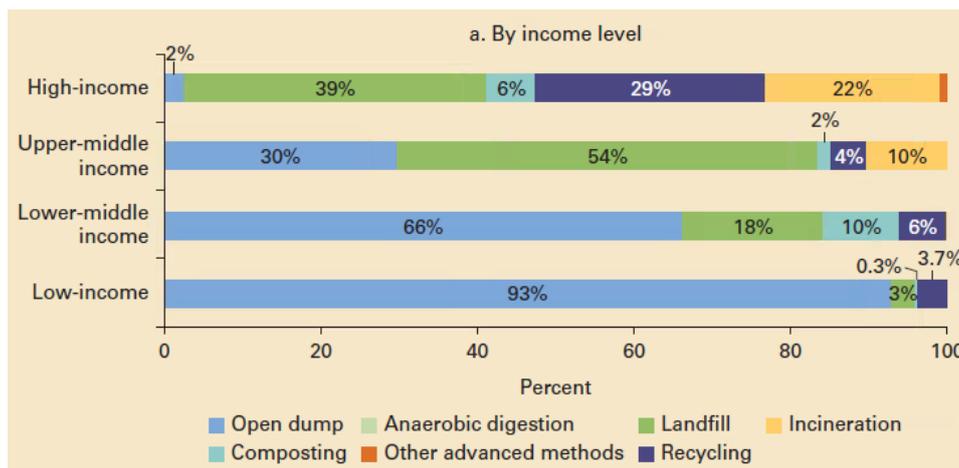


Figura 1.3.4.2. Disposición final de los residuos generados en función del nivel de ingresos del país. (World Bank Group, 2018).

En Argentina, se realizaron diversas normativas tendientes a reducir la contaminación. Entre las medidas más importantes, se encuentra el reciclaje de los residuos y la gestión para su disposición final. Sin embargo, como consecuencia de la falta de educación ambiental, los permanentes recambios de las autoridades gubernamentales, vacíos normativos y escasos controles y penalidades, hoy en día la gestión de los residuos continúa siendo una problemática desafiante.

La Ley N.º 25.916 de Gestión de Residuos Domiciliarios, sancionada y promulgada en 2004, regula el manejo de los RSU en Argentina. Establece que su gestión recae en los gobiernos municipales; deben encargarse de la recolección domiciliaria, higiene urbana y disposición final de los residuos. En muchos casos, ésta última se efectúa en basurales a cielo abierto (BCA), pero se corren riesgos de contaminación del aire, los suelos, las aguas subterráneas y superficiales circundantes, debido a la mala gestión de los RSU y controles deficientes.

Sin embargo, dado que los gobiernos provinciales deben garantizar el cuidado y preservación del medio ambiente y la salud de la población, no pueden quedar ajenos a la gestión de los RSU. Por esta razón, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) expone las soluciones a esta situación desde una perspectiva nacional en la Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (ENGIRSU). Propone como estrategia la Gestión Integral de Residuos (GIRSU) “por ser el mejor sistema conocido hasta el momento, basado en una metodología probada exitosamente en los países desarrollados y que consiste en una conjunción multidisciplinaria de diversas

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

ciencias y tecnologías, que se plasma en distintos componentes operativos (Generación, Higiene Urbana, Recolección, Transferencia, Transporte, Tratamiento y Disposición Final), interrelacionados entre sí de manera lógica y funcional” (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2005, p. 4).

Una de las metas principales de la ENGIRSU es la erradicación total de las prácticas de disposición final inadecuadas, tales como los BCA, y la cobertura total con rellenos sanitarios para el 2025, dado que el porcentaje de disposición en relleno sanitario a nivel país sólo “alcanza el 61% de los habitantes” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2016, p. 4).

1.3.5 El CEAMSE y la gestión de los RSU

Los sitios de descarga de residuos del CEAMSE son las estaciones de transferencia en Colegiales, Flores, Pompeya, Alte. Brown y Zavaleta para la CABA, donde se trasladan los residuos de los vehículos recolectores a equipos de transporte con mayor capacidad de carga para conducirse a los complejos ambientales, y éstos últimos para el resto del AMBA.

El CEAMSE cuenta con tres complejos activos: Complejo Ambiental Ensenada, Complejo Ambiental González Catán y Complejo Ambiental Norte III, en el cual se basa este proyecto. En ellos se realiza el tratamiento y la disposición final de los RSU. Se busca reducir su volumen y su impacto ambiental a través de diversas acciones, tal como separar y clasificar los residuos, captar el biogás, tratar los líquidos lixiviados y fabricar compost.

La etapa de selección y clasificación de los residuos tiene una gran incidencia en la vida útil de los rellenos sanitarios dado que, al recuperar aquellos residuos que son reciclables, aumenta la proporción de materiales orgánicos dispuestos en ellos y, por ende, la cantidad de biogás obtenido por tonelada de RSU. “Según estudios realizados en 2011, del total de residuos generados, recolectados y dispuestos en CEAMSE, se estima que el porcentaje de material potencialmente reciclable sería de 16,2% para el AMBA, y de 19,8% para la CABA. Sin embargo, dado que la predisposición de los vecinos a participar en programas de reciclaje no implica su efectiva participación, se estima que el porcentaje máximo de material a ser potencialmente reciclado sería del 11% y del 14% para el AMBA y la CABA, respectivamente” (FIUBA, CEAMSE, 2011).

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Además, dentro de los RSU, se pueden encontrar residuos como, por ejemplo, pintura al aceite, removedor, solventes, aguarrás, esmaltes, thinner, selladores, barnices y adhesivos. Todos éstos se clasifican como residuos peligrosos y patógenos, y dado que, según datos obtenidos del Estudio de Calidad de los Residuos Sólidos Urbanos de la CABA (2016), realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires y el CEAMSE, éstos “presentan un porcentaje en el flujo de residuos de: 1,65 % (2001), 1,01 % (2005), 1,66% (2006), 0,21% (2007), 0,82% (2008), 0,67% (2009) y 1,07% (2015)” (p. 109), se estima que en promedio el 1,01% de los RSU recibidos en el CEAMSE, pertenece a esta categoría.

1.3.6 Complejo Ambiental Norte III

Dado que los RSU son el recurso a partir del cual se obtendrá el biogás en este proyecto, resulta de suma importancia analizar su disponibilidad a lo largo de los próximos años. A continuación, se procede a proyectar las toneladas de RSU disponibles para los rellenos sanitarios del Complejo Ambiental Norte III, teniendo en cuenta el origen y la naturaleza de los residuos.

En primer lugar, se hallaron datos históricos acerca de la cantidad de RSU que recibió el Complejo Ambiental Norte III en los últimos años, que se muestran en la tabla de la figura 1.3.6.1.

Tabla 5 - Generación de RSU del AMBA - Período Enero 1996 a Mayo 2011

	AÑO	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011(*)
T	RESIDUOS MUNICIPALES	4.012.210,7	4.265.345,6	4.727.862,8	4.940.558,1	4.938.008,7	4.827.865,0	3.912.557,8	3.817.190,3	4.061.658,9	4.215.744,7	4.385.955,0	4.514.744,4	4.835.962,4	5.008.866,3	5.421.510,5	1.380.930,9
O	CAPITAL FEDERAL	1.990.754,6	1.871.849,4	1.817.550,2	1.977.252,8	1.953.375,1	1.835.934,3	1.443.046,6	1.421.842,1	1.492.567,1	1.477.147,4	1.536.452,8	1.645.368,0	1.884.460,3	1.847.748,4	2.110.122,2	966.394,9
T	CONSUMIDARIO	2.421.456,2	2.593.491,1	2.910.312,5	2.963.306,3	2.984.633,7	2.991.730,7	2.489.511,2	2.395.348,2	2.569.791,8	2.738.597,4	2.849.502,2	2.869.376,4	2.951.522,2	3.161.117,9	3.311.388,2	814.534,1
A	GEN. PRIVADOS	487.318,4	549.520,5	609.073,4	600.455,7	568.759,7	504.846,2	404.506,7	437.588,4	493.714,5	545.917,0	630.938,1	683.327,8	749.227,5	653.476,7	703.995,6	191.630,9
L	GENERAL	4.499.526,1	4.814.861,1	5.336.836,1	5.541.014,8	5.506.768,5	5.332.811,2	4.317.064,5	4.254.778,6	4.555.373,4	4.761.661,8	5.016.893,1	5.198.072,2	5.585.209,9	5.862.343,0	6.125.506,1	1.572.561,8
DOF	NORTE II			471.242,8	134.141,5												
C	NORTE III	1.406.571,9	1.522.827,1	1.165.523,3	1.474.483,3	1.568.729,9	1.526.364,8	1.292.651,2	2.548.955,7	3.485.528,5	3.627.182,0	3.843.872,7	4.156.774,7	4.851.331,8	4.983.669,6	5.382.489,0	1.402.471,0
E	COSTA SUR	2.427.906,7	2.577.496,5	2.861.653,4	3.040.522,7	2.976.829,0	2.823.622,9	2.235.315,4	930.378,5	8.873,8							
N	GONZALEZ CATAN II	472.924,9	199.466,5														
T	GONZALEZ CATAN III		351.163,5	893.551,5	633.627,2	790.614,7	722.439,5	960.987,3	652.242,8	699.477,9	742.256,9	741.000,0	860.283,5	423.810,3	413.290,3	448.916,8	110.411,8
O	ENSEÑADA	192.122,7	203.967,5	244.665,3	258.640,2	260.594,8	260.084,0	228.110,6	223.263,8	261.293,2	292.253,0	422.494,3	370.831,5	249.874,1	245.896,9	241.655,6	53.857,5

Nota: Los valores de 2011 corresponden al período Enero - Mayo
Fuente: Elaboración propia según datos suministrados por CEAMSE

Figura 1.3.6.1. Generación anual de RSU del AMBA entre enero de 1996 y mayo de 2011. (FIUBA, CEAMSE, 2011).

Dado que la generación de RSU está vinculada al tamaño de la población y su nivel de ingresos, se procedió a realizar un análisis exploratorio, teniendo en cuenta distintas variables tales como, población cuyos RSU son recibidos por el Complejo Ambiental

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Norte III, el crecimiento del PIB (% anual) y el crecimiento del PIB per cápita (% anual) en Argentina; se espera que cuanto mayor sean estas variables, mayor será la generación de RSU en el AMBA.

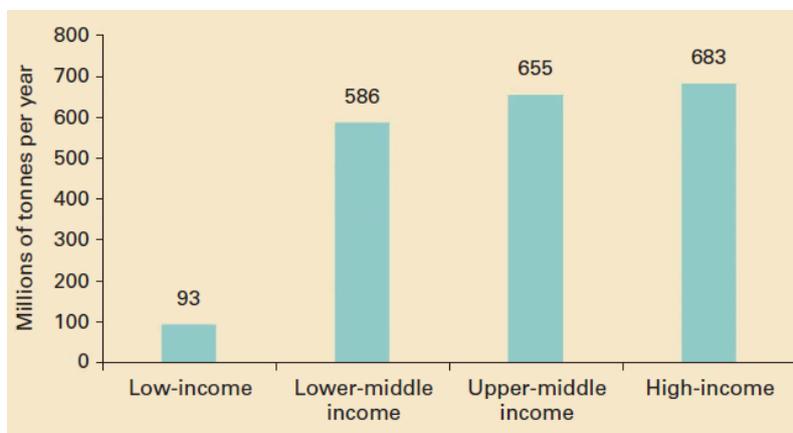


Figura 1.3.6.2. Cantidad de residuos generados mundialmente según nivel de ingresos en 2016 (World Bank Group, 2016).

Una vez que se obtuvieron los estadísticos para cada modelo, se descartaron aquellos modelos con un coeficiente de determinación menor a 0,6, redundantes ($DET < 0,1$) o incompletos ($CP > 5p$), y se realizó un análisis de regresión en Excel para los restantes.

Después, se eliminaron aquellos modelos que tuvieran variables con coeficientes con signo contrario a la relación directa planteada previamente, que tuvieran un valor crítico de f mayor a 0,05, o que tuvieran alguna variable cuyo coeficiente tuviese una probabilidad que fuese también mayor a 0,05. Finalmente, se seleccionó el primer modelo de la Tabla 1.3.6.1 siendo:

Y: RSU que recibe el CA Norte III por año (tn)

X1: Población cuyos RSU son dispuestos en el CA Norte III

X2: PIB real (USD)

Modelo	R^2	S^2	DET	$\sum \delta_i $	PRESS	p	C_p
X1 X2	0,952146	1,61274E+11	0,256917	6815971	3,64E+12	3	8,754479
X1 X3	0,945993	1,82011E+11	0,986601	7034838	4,23E+12	3	11,29456

Tabla 1.3.6.1. Modelos analizados para proyectar las toneladas de RSU que llegan al CA Norte III. Elaboración propia.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se utilizaron las proyecciones del PIB real (USD) suministradas por la Cátedra, datos históricos de la población total argentina obtenidas del Banco Mundial y proyecciones de la población realizadas por el INDEC, para proyectar las toneladas anuales de RSU que recibe el Complejo Ambiental Norte III. Sin embargo, dado que el biogás se obtiene a partir de los residuos orgánicos, interesa proyectar su tonelaje en particular, es decir, descartar las toneladas de residuos reciclables, peligrosos o patógenos.

En cuanto a los residuos reciclables, dado que los residuos pasan por la etapa de selección y clasificación antes de ser dispuestos en el relleno sanitario, y que existe una creciente tendencia mundial a reciclar como se mostró anteriormente, se asume que, en los próximos años, se alcanzará el porcentaje de material potencialmente reciclable mencionado en el Estudio de Calidad de los Residuos Sólidos del Área Metropolitana de Buenos Aires del 2011; 16,2% para el AMBA, y 19,8% para la CABA. Además, es importante aclarar que, si bien la producción de compost también utiliza como recurso RSU orgánicos, según el gráfico de la figura 1.3.6.3 sólo representa un 5,5% en el año 2016, por lo que se decidió desprestigiar las toneladas que se destinan al compostado.



Figura 1.3.6.3. Ubicación del AMBA (FIUBA, CEAMSE, 2011).

Para calcular las toneladas recicladas según el área en cuestión, se utilizaron proyecciones de la población por departamento elaboradas por el INDEC en base a resultados del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. El área de cobertura del Complejo Ambiental Norte III está comprendida por las Comunas 2, 13 y 14 de CABA, y los siguientes 27 partidos de GBA: Almirante Brown, Avellaneda, Berazategui, Esteban Echeverría, Ezeiza, Florencio Varela, General San Martín, Hurlingham, Ituzaingó, José C. Paz, Lanús, Lomas de Zamora, Malvinas Argentinas, Merlo, Moreno, Morón, Quilmes, San Fernando, San Isidro, San Miguel, Tigre, Tres de Febrero, Vicente López, Escobar, General Rodríguez, Pilar y Presidente Perón. Por lo tanto, se sumaron las poblaciones estimadas de las zonas correspondientes en cada año, para obtener la población total cuyos residuos se dirigen a Norte III, así como también desglosada en población de la CABA y del conurbano. Luego de una serie de cálculos, se obtuvo la cantidad de toneladas anuales recicladas en cada zona y se las restó del total de residuos que se recibieron en el complejo.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En cuanto a los residuos peligrosos o patógenos, se asumió que representaban el 1,01% del flujo de residuos totales, como se estimó previamente.

A continuación, se muestra la proyección obtenida hasta el 2030 de los RSU orgánicos disponibles cada año para ser dispuestos en el relleno sanitario del Complejo Ambiental Norte III.

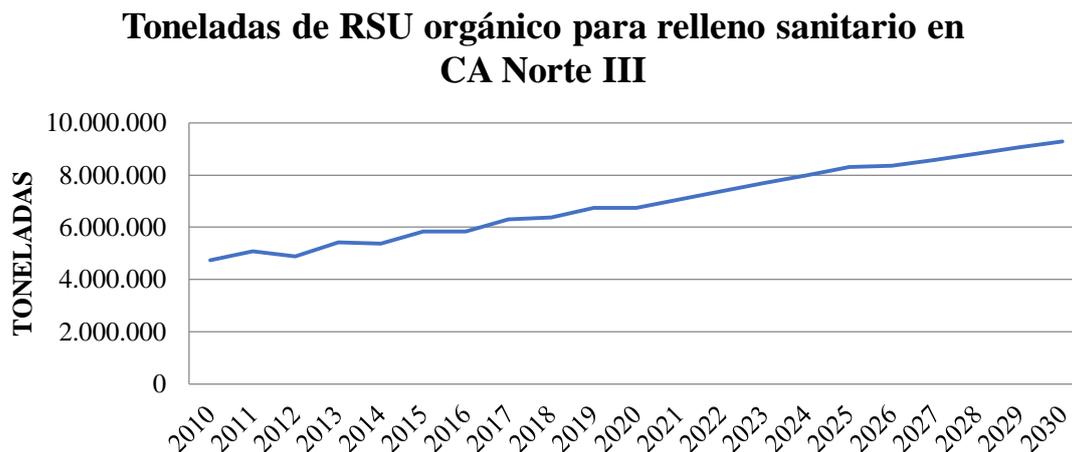


Figura 1.3.6.4. Proyección de las toneladas anuales de residuos orgánicos que recibe el Complejo Ambiental Norte III para disponer en relleno sanitario hasta el 2030. Elaboración propia.

Se puede observar que la generación de residuos urbanos orgánicos que recibirá el Complejo Ambiental Norte III, presenta una tendencia creciente. Se prevé que para el año 2030, éste reciba 9.300.000 toneladas, aproximadamente. En los próximos 10 años, estos residuos serán utilizados para rellenar los Módulos C y D del complejo. Llegado el caso que no se contará con la cantidad necesaria de RSU orgánicos para obtener el biogás requerido para cumplir con el aumento de producción deseado, podría ser un limitante.

1.4 DEMANDA

1.4.1 Clasificación de la demanda

El consumo en Argentina se puede subdividir en tres grandes sectores: demanda residencial, demanda de consumos intermedios y gran demanda. En el primero se incluyen los consumos no solo de viviendas sino también la iluminación pública, la segunda mencionada hace referencia al consumo por parte de los comercios y con gran

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

demanda englobamos todos los gastos por parte de las diferentes industrias en Argentina. El consumo residencial ocupa la porción más grande del consumo eléctrico a lo largo de todo el país. Aquí aparece el gráfico mostrando la distribución del consumo eléctrico en todo el país durante todo el año 2018, cuyos datos provienen de los últimos informes mensuales publicados por CAMMESA; visto que aún no se ha lanzado el informe anual del 2018. Luego se presenta un gráfico de barras mostrando la evolución de estos sectores a lo largo de los últimos 14 años.

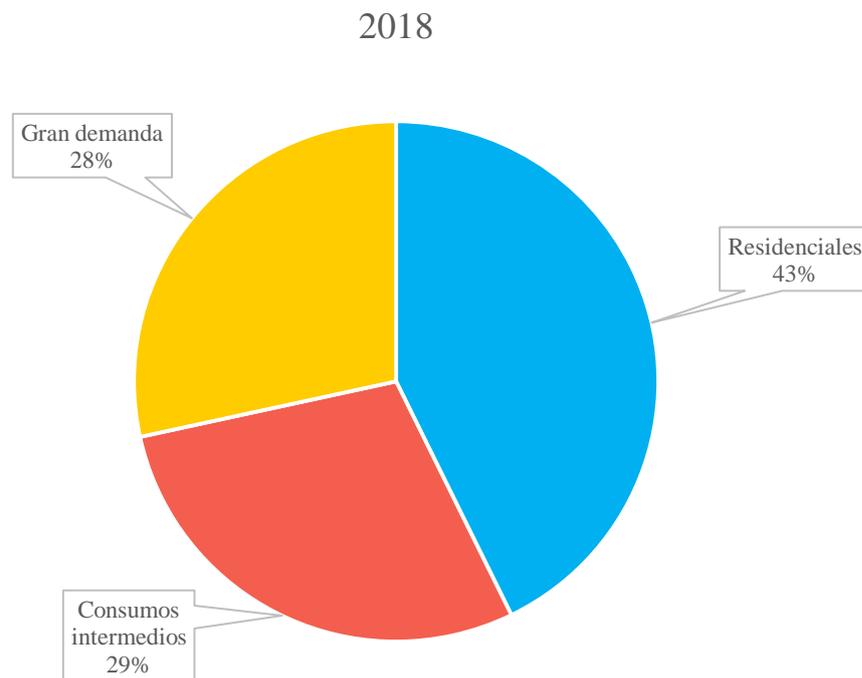


Figura 1.4.1.1. Clasificación de clientes. Elaboración propia en base a datos de CAMMESA.

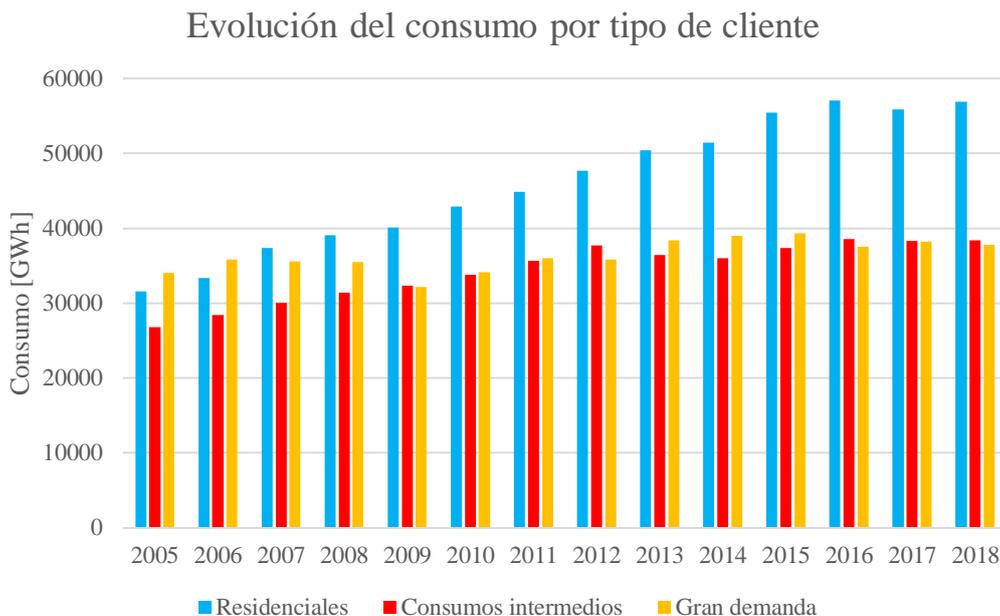


Figura 1.4.1.2. Evolución del consumo. Elaboración propia en base a datos de CAMMESA.

Por medio de estos gráficos se ve cómo claramente el sector de mayor crecimiento es el de consumo residencial o doméstico. El mismo pasó de un consumo de 31532 GWh a unos 56900 GWh en este lapso de 14 años, esto implica un crecimiento del 80%. A diferencia de los sectores consumo intermedio y gran demanda con un crecimiento del 43% y 11% respectivamente. Esta notoria diferencia se explica con el crecimiento constante del consumo doméstico a diferencia del consumo de gran demanda el cual tuvo años críticos como el 2009 donde su gasto eléctrico cayó un 9,3% y el 2016 donde el mismo decayó 4,7%.

1.4.2 Selección de modelos

En primer lugar, vale mencionar los datos utilizados para las proyecciones de la demanda.

Año	Residenciales (GWh)	Consumos intermedios (GWh)	Gran demanda (GWh)	Total (GWh)
2005	31532	26781	34075	92388
2006	33373	28415	35807	97595
2007	37339	30050	35580	102969
2008	39114	31387	35476	105977
2009	40122	32361	32174	104657
2010	42881	33755	34140	110776

2011	44879	35655	35973	116507
2012	47722	37696	35809	121227
2013	50381	36453	38405	125239
2014	51444	35995	39028	126467
2015	55424	37351	39334	132109
2016	57067	38541	37503	133111
2017	55889	38291	38255	132435
2018	56900	38358	37828	132657

Tabla 1.4.2.1 Informe CAMMESA (2017-18).

Con la información en base al tipo de demanda se llevaron a cabo distintos análisis para llegar a las proyecciones más acertadas en términos estadísticos para cada una de ellas.

La siguiente gráfica muestra un análisis de regresión del consumo residencial frente a la población argentina en millones de personas. Dicha relación es lógica debido a que tener una mayor población implica un aumento en el consumo de energía, además de la expansión de las redes de energía pública.

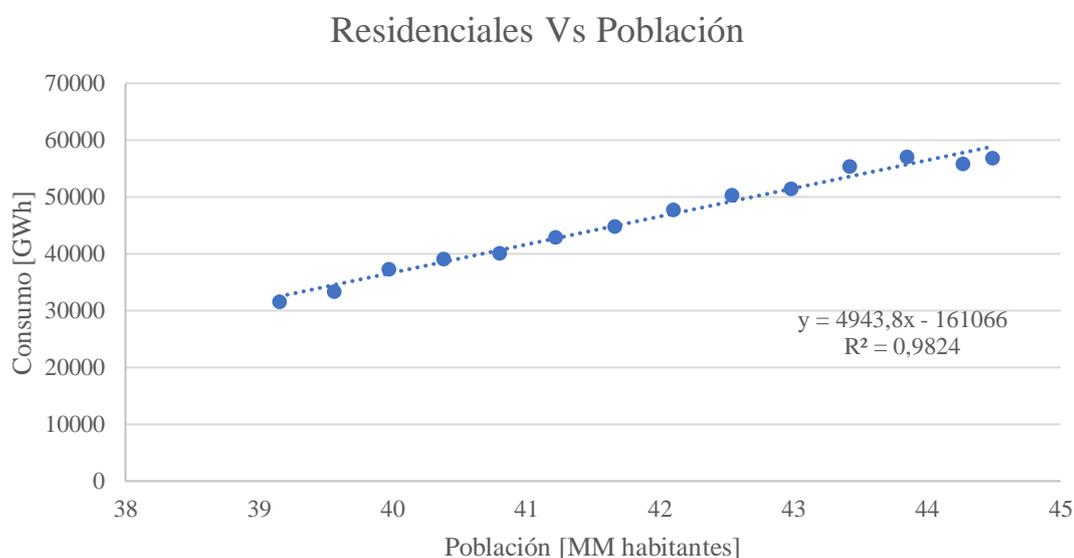


Figura 1.4.2.1. Análisis de regresión del consumo residencial frente a la población argentina. Elaboración propia a partir de INDEC y CAMMESA.

El análisis arrojó una fuerte correlación directa entre el crecimiento de la población y el consumo con un R^2 de 98,24%. Quedando como ecuación de la regresión la mostrada en el gráfico:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

$$Demanda\ residencial = 4943,8 \times Población - 161066 \quad (1.4.2.1)$$

Con un análisis de los estadísticos proporcionados y mostrados a continuación, entre ellos se destacándose el R² ajustado, el p-value del coeficiente y que el valor de C_p es considerablemente menor a 5p; se puede dar como válido el modelo.

Modelo	R ²	S ²	DET	Σ δ _i	PRESS	p	C _p
X1	0,982389	1491646	1	15767,66	27008468,3	2	3,73135

Tabla 1.4.2.2. Estadísticos del modelo explicativo de la demanda residencial.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99115559
Coefficiente de determinación R ²	0.98238941
R ² ajustado	0.98092186
Error típico	1221.32954

Tabla 1.4.2.3. Estadísticos del modelo explicativo de la demanda residencial.

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad
Intercepción	-161065.966	8010.03088	-20.1080331	1.3098E-10
Población	4943.79272	191.079798	25.8729221	6.7805E-12

Tabla 1.4.2.4. Estadísticos del modelo explicativo de la demanda residencial.

Por otro lado, el consumo intermedio o también denominado comercial se lo puede explicar a partir del PBI, aunque se probó con distintas variables para poder representar la evolución de este sector del consumo. Entre ellas se menciona al crecimiento porcentual del PBI, el PBI, el PBI per cápita, y la tasa de cambio entre otras variables. Al probar las distintas combinaciones posibles se eligió aquella que mejor se adapta a los datos, resultando ser las variables más relevantes la variación anual del producto bruto interno y al mismo en valores totales reales en dólares. A continuación se puede observar los valores obtenidos:

Modelo	R ²	S ²	DET	Σ δ _i	PRESS	p	C _p
X1 X2	0,951817	886078,179	0,801264	12447,85	14352070,84	3	3
X2	0,919493	1357121,54	1	14299,21	21069149,48	2	8,379257
X1	0,346227	11020836,2	1	45972,22	202645618,2	2	139,2532

Tabla 1.4.2.5. Modelos explicativos de la demanda intermedia.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Al revisar dicha relación se ve que cumple con los supuestos, el problema es que, al observar la fórmula explicativa del modelo, se observa una relación inversa entre la demanda intermedia y la variación del PBI. Esto resulta ser poco lógico, y al existir una relación directa entre el valor total anual del producto y la variable explicada, se deja en evidencia una falla en el modelo. Debido a esto y a que en varios casos el coeficiente de ciertas variables se comportaba del mismo modo, el modelo finalmente seleccionado fue el que toma como variables el PBI real anual en dólares del país. En el caso de la tabla anterior, dicha variable es mostrada como X2.

A continuación, se muestra el gráfico correspondiente mostrando la relación lineal entre ambas variables. En la misma se realizó un ajuste y se representa al PBI real en términos de miles de millones de dólares.

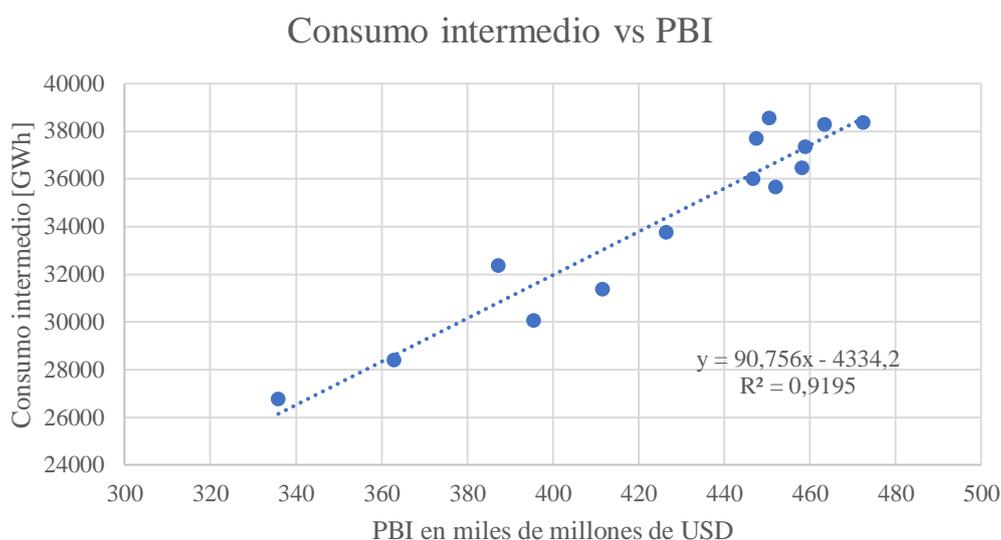


Figura 1.4.2.2. Análisis de regresión del consumo intermedio frente a PBI Argentino. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA y Marketlina.

En el análisis se ve una gran correlación entre ambas variables con un R^2 de 91,95%. Entonces la ecuación explicativa de la regresión es la mostrada en el gráfico:

$$\text{Demanda Intermedia} = 90,756 \times \text{PBI real} - 4334,2 \quad (1.4.2.2)$$

Al igual que en el caso residencial se realizó el análisis de estadísticos correspondientes y en base a este se valida el modelo de regresión.

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9589022
Coefficiente de determinación R ²	0.91949342
R ² ajustado	0.91278454
Error típico	1164.9556

Tabla 1.4.2.6. Estadísticos del modelo explicativo de la demanda intermedia.

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>
Intercepción	-4334.22142	3320.125112	-1.30543918	0.216218162
PBI real en dólares	90.7559804	7.752218296	11.7070981	6.36568E-08

Tabla 1.4.2.7. Estadísticos del modelo explicativo de la demanda intermedia.

Por último, se encuentra la gran demanda o también denominada demanda industrial. Esta demanda presenta la mayor dificultad para ser proyectada, principalmente por tratarse de un país inestable como lo es la Argentina.

Esta demanda en un principio se pensó que se encuentra estrechamente ligada a las empresas metalúrgicas, principales consumidoras de energía en el ámbito industrial, al PBI industrial, al PBI real y a su crecimiento anual. De todos modos, el análisis estadístico de estas relaciones no finalizó con los resultados esperados, dando una falta de relación estadística aceptable. Este análisis se profundiza con datos pertinentes en el anexo.

Por estos inconvenientes presentes en los modelos de regresión se prosiguió a realizar una serie de tiempo con los datos de la respectiva demanda. Este realizó su análisis con respecto al paso de los años y la gráfica resultante es la que aparece a continuación.

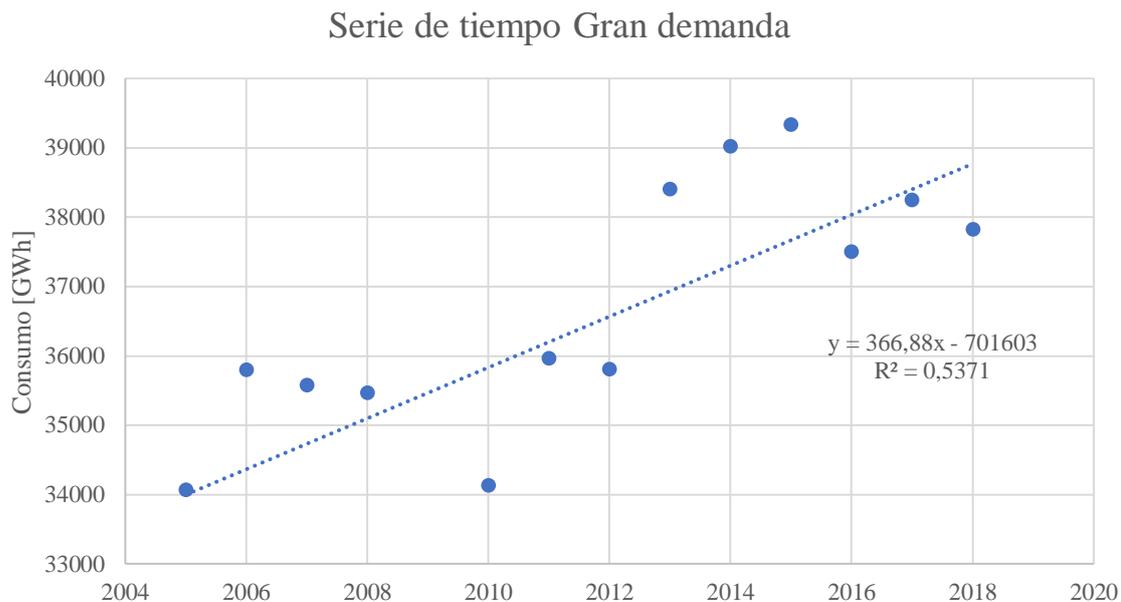


Figura 1.4.2.3. Serie de tiempo. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

En esta serie de tiempo se puede apreciar una evolución constante de la gran demanda, una tendencia creciente, aunque con fluctuaciones más que considerables. Viendo los desvíos independientes de cada valor, se prosiguió a realizar una nueva serie de tiempo omitiendo el valor del 2009, dicho año la Argentina sufrió una inestabilidad económica considerable y el sector industrial fue uno de los grandes afectados y por esta razón no se tomará en cuenta dicho año tomándolo como excepcional en la gráfica de demanda industrial.

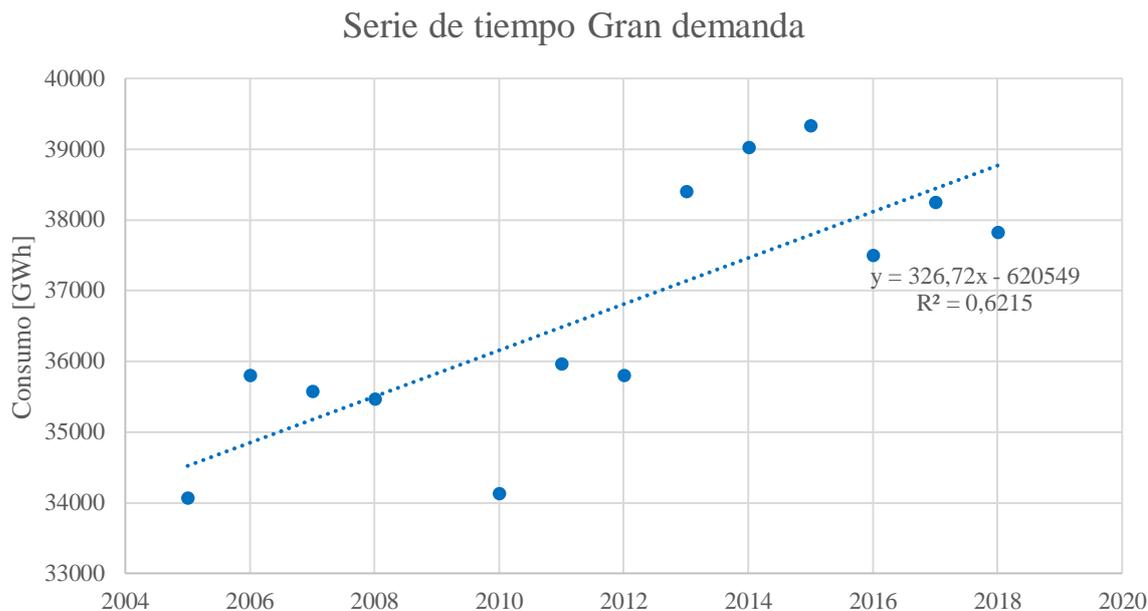


Figura 1.4.2.4.: Análisis de regresión de la gran demanda frente a tiempo. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Con esta nueva gráfica se puede ver una cercanía mayor y sin ningún sobresalto excesivo como ocurría anteriormente con el año 2009. Comparativamente, esta serie posee un mayor poder de explicación que el anterior en un casi 9% de mejora; con un R^2 de 0,6215 frente al 0,537 que se había obtenido contando dicho año. De todos modos, no es un valor explicativo del nivel que se había logrado en los otros niveles de demanda. Se mantuvo este mismo con su respectiva recta mostrada a continuación por falta de concordancia con otros datos explicativos.

$$Demanda Industrial = 326,72 x \text{ año} - 620549 \quad (1.4.2.3)$$

En conclusión, para este tipo de demanda no se utilizará una regresión, sino que una serie de tiempo. Esta muestra un crecimiento progresivo y acorde a la realidad para poder extrapolar en años futuros, 10 años a partir de la actualidad para ser exactos.

1.4.3 Proyecciones

A partir de los modelos mostrados en la sección anterior, se procederá a realizar proyecciones a futuro para los tres tipos de demanda en base al movimiento de las variables explicativas seleccionadas. En cada caso son aproximaciones de su evolución ya que dichas variables son desconocidas a futuro. El crecimiento demográfico es el estimado por el INDEC y en el caso del PBI es mediante Marketline, con base en 2010.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Para comenzar la demanda residencial se proyectará con su respectiva ecuación mostrada en su modelo con respecto al crecimiento demográfico proyectado. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Año	Población (MM)	Demanda Residencial (GWh)
2018	44,49	56900
2019	44,94	61108,37
2020	45,38	63283,64
2021	45,81	65409,47
2022	46,23	67485,87
2023	46,65	69562,27
2024	47,07	71638,66
2025	47,47	73616,18
2026	47,87	75593,70
2027	48,27	77571,22
2028	48,65	79449,87
2029	49,03	81328,51
2030	49,41	83207,15

Tabla 1.4.3.1. Resultados de proyección de demanda residencial.

En esta tabla se muestra en naranja los valores calculados en GWh para las proyecciones de este tipo de demanda. A continuación, se muestra en forma gráfica dicha evolución esperada conforme pasen los siguientes 10 años en naranja en conjunto con los datos reales del consumo según CAMMESA.

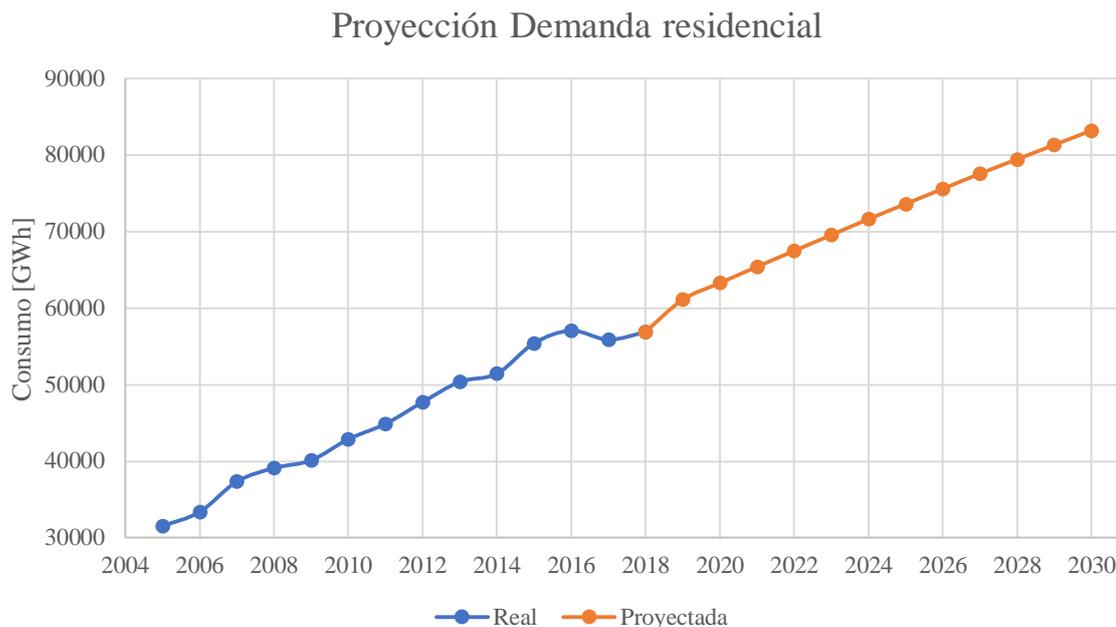


Figura 1.4.3.1. Resultados de proyección de demanda residencial.

Luego para la evolución de la demanda intermedia se debió proyectar el PBI, esto es debido a que las proyecciones proporcionadas por Marketlina solo llegan hasta el año 2025. Se realizó, una serie de tiempo del PBI, tomando en cuenta la evolución proyectada para los próximos años. Para la misma se tomaron los datos proporcionados desde 2018 hasta las proyecciones del 2025. Con esta proyección más la ecuación nombrada en la selección del modelo, se llega a los valores proyectados de la demanda intermedia.

A continuación, se presenta una tabla con el cálculo de las proyecciones del PBI como de su respectiva demanda. Las proyecciones del PBI calculadas mediante la serie de tiempo aparecen en verde mientras que las de la demanda aparecen en rojo.

AÑO	PBI	Demanda Intermedia
2018	472,4449463	38358,37
2019	487,6435003	39922,37
2020	502,8628539	41303,62
2021	518,9192648	42760,84
2022	535,8152761	44294,25
2023	553,4971802	45898,99
2024	571,5057645	47533,38
2025	589,7786752	49191,75
2026	576,546	50409,64

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

2027	587,067	51872,90
2028	597,588	53336,16
2029	608,109	54799,41
2030	618,63	56262,67

Tabla 1.4.3.2. Resultados de proyección de demanda intermedia.

Luego se mostrará en un gráfico las proyecciones de los próximos 10 años. Aquí se ve una tendencia creciente y cuyos valores crecen de manera considerable en el largo plazo. Esto es debido a las proyecciones que se ven optimistas acerca del PBI en la Argentina.

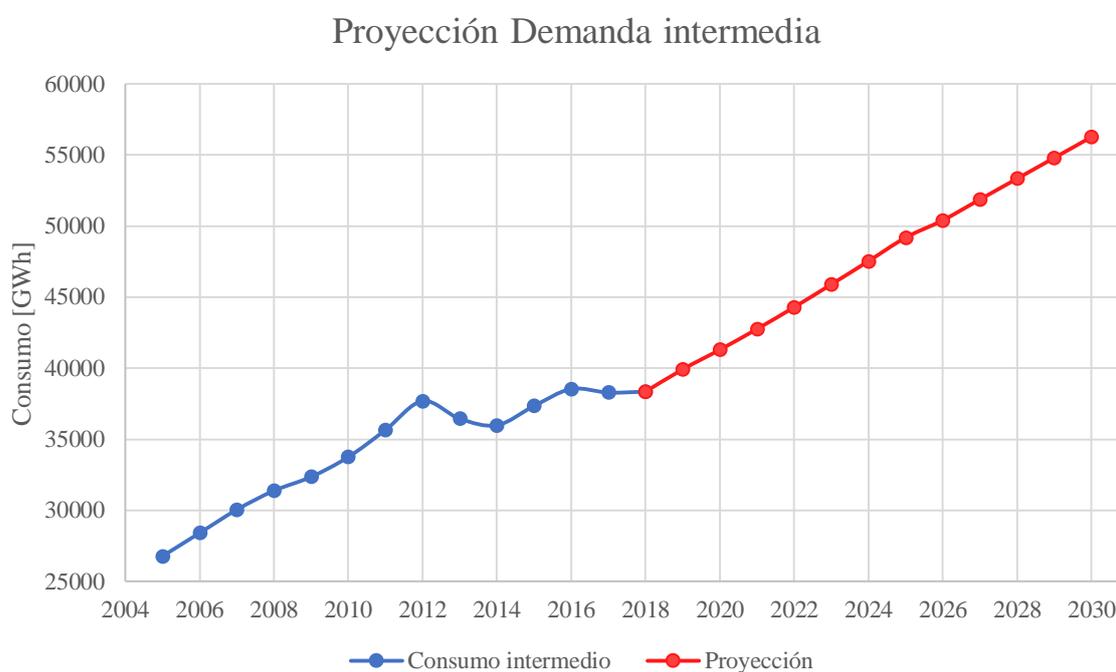


Figura 1.4.3.2. Resultados de proyección de demanda intermedia.

Finalmente aparecen las estimaciones de proyección de la demanda industrial. Según el cálculo estimado en su modelo según la serie de tiempo se llegó a los siguientes valores.

AÑO	Gran Demanda
2018	37828,11
2019	39098,68
2020	39425,4
2021	39752,12
2022	40078,84
2023	40405,56

2024	40732,28
2025	41059,00
2026	41385,72
2027	41712,44
2028	42039,16
2029	42365,88
2030	42692,60

Tabla 1.4.3.3.: Resultados de proyección de gran demanda.

De manera gráfica se representan estos valores, mostrando así su forma creciente y similar a como venía anteriormente. Vale aclarar que a modo de representar correctamente todos los valores de la demanda en este gráfico si se incluyó el valor de la demanda industrial del 2009, no incluido en el modelo de serie de tiempo utilizado para estimar la ecuación de la proyección.

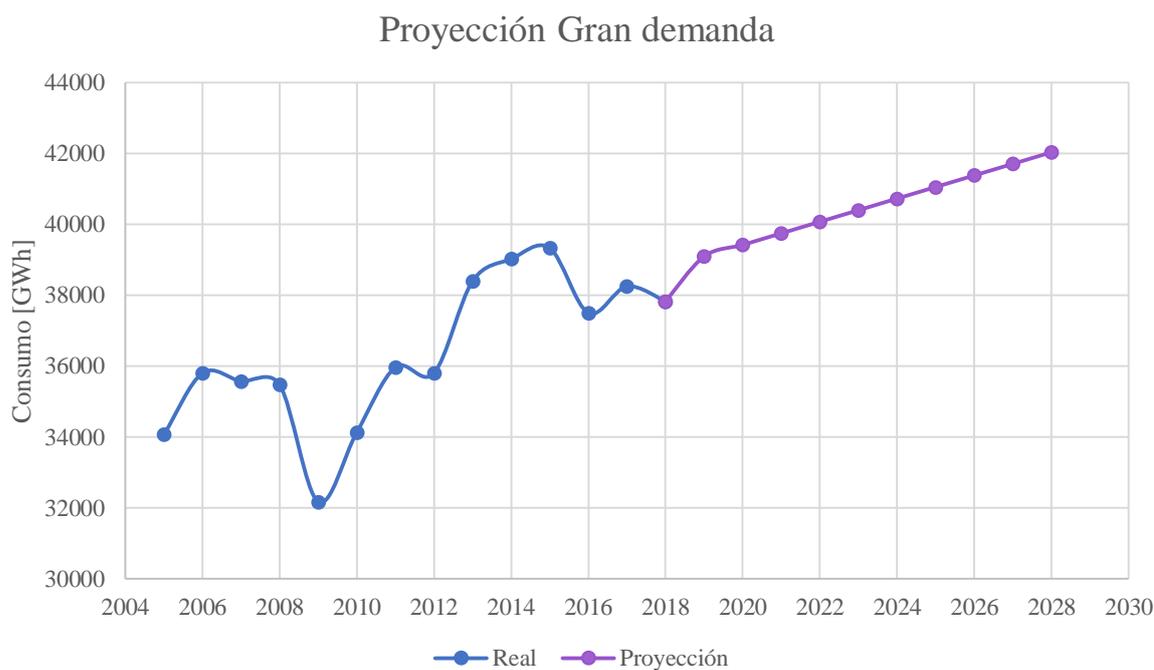


Figura 1.4.3.3. Resultados de proyección de gran demanda.

1.4.3.1 Demanda futura total

Se procederá ahora a realizar el cálculo acumulativo de la demanda total en los próximos 10 años según los distintos tipos de demanda y sus respectivos modelos.

Año	Demanda Total
2017	132435,00
2018	133086,48
2019	140129,43
2020	144012,67
2021	147922,43
2022	151858,97
2023	155866,82
2024	159904,32
2025	163866,94
2026	167389,06
2027	171156,56
2028	174825,19
2029	178493,81
2030	182162,43

Tabla 1.4.3.1.1. Resultados de proyección de gran demanda.

Con las proyecciones de la demanda total fue llevado a cabo el gráfico siguiente mostrando la demanda total y separándola en cada tipo de esta. Se ve que el sector residencial es el de mayor consumo y su proporción con respecto al resto va en aumento. Pero lo de mayor relevancia es notar el crecimiento general de total la demanda energética. Junto a este crecimiento en la demanda se puede proyectar un incremento en el mercado para el producto a realizar por el proyecto.

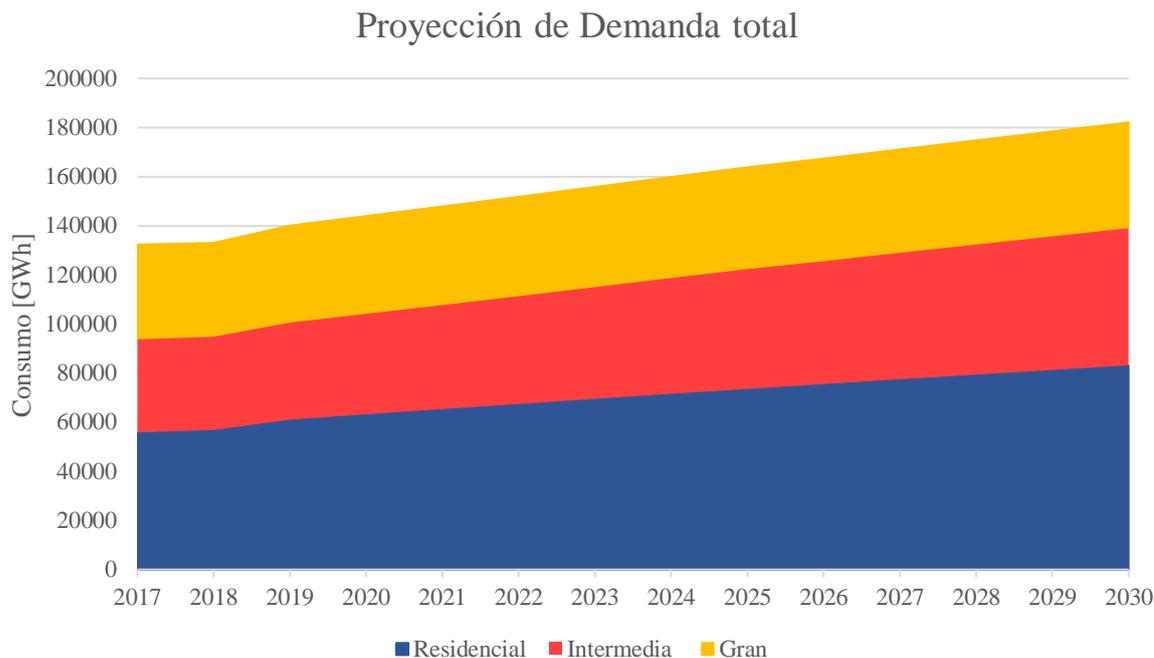


Figura 1.4.3.1.1 Resultados de proyección de gran demanda.

Por nuevas legislaciones ya mencionadas, un porcentaje del consumo energético mínimo debe ser dado por energías renovables. Estos porcentajes de energía mínima de origen renovable en los próximos años y su valor en GWh de la demanda total se puede ver en la gráfica siguiente. Como también su valor total de renovable para la demanda industrial.

Año	% de renovable	Renovable de gran demanda	Renovable de total
2017	8%	3060,40	10594,80
2018	8%	3026,25	10646,92
2019	12%	4691,84	16815,53
2020	12%	4731,05	17281,52
2021	16%	6360,34	23667,59
2022	16%	6412,61	24297,43
2023	18%	7273,00	28056,03
2024	18%	7331,81	28782,78
2025	20%	8211,80	32773,39
2026	20%	8277,14	33477,81
2027	20%	8342,49	34231,31
2028	20%	8407,83	34965,04
2029	20%	8473,18	35698,76
2030	20%	8538,52	36432,49

Tabla 1.4.3.1.2. Proyección de demanda de energías renovables total.

1.5 ANÁLISIS DE PRECIOS

1.5.1 Precio monómico

Se utiliza el precio monómico para representar el precio promedio de la energía en el sistema eléctrico argentino, independientemente de la fuente de energía. Este varía a lo largo del día y depende de las fuentes de generación que están en funcionamiento. A mayor demanda, comienzan a generar centrales de mayores costos, elevando el precio monómico en ese momento.

Para estudiar el comportamiento del precio monómico, se deben tener en cuenta diversos factores. Sin embargo, al poder considerar el precio de la energía eléctrica como un commodity, se utiliza para su proyección la técnica de Mean Reversion.

Para visualizar mejor la importancia relativa del costo de los combustibles, los cuales influyen en la determinación del precio monómico, se presenta el siguiente gráfico del año 2016, donde el precio medio monómico fue de 71 U\$D/MWh.

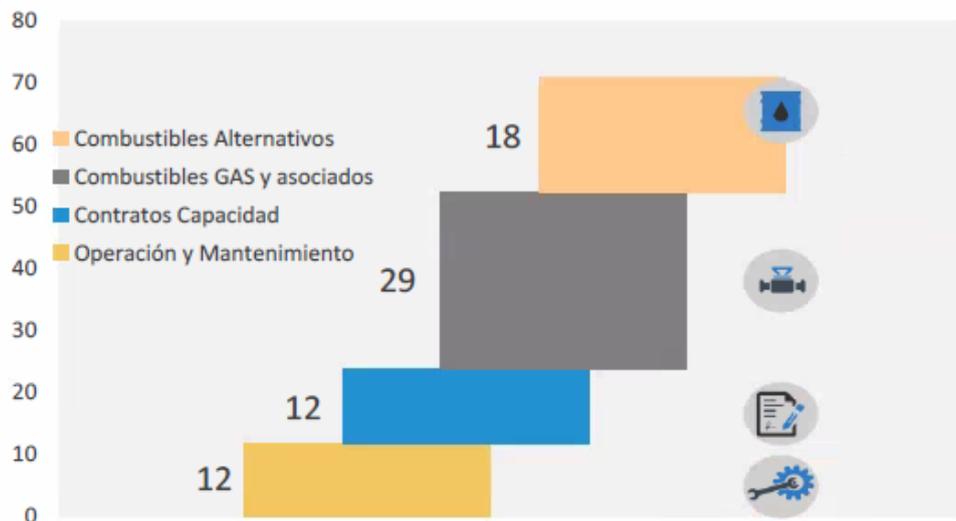


Figura 1.5.1.1. Costos de los combustibles reflejados en el precio monómico. Fuente: Ministerio de energía y minería.

- Combustibles Alternativos → costos asociados especialmente a los combustibles líquidos fuel oil (FO) y gas oil (GO).
- Combustible gas y asociados → costos relacionados con el uso del gas natural
- Contratos Capacidad → costos de nueva potencia asociado a la expansión de la capacidad.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

- Operación y Mantenimiento → costos directos asociados a la producción de energía.

Factores que influyen en el precio monómico

A) Gas natural y otras materias primas de las centrales eléctricas:

Debido a que la matriz energética depende históricamente de las centrales térmicas, el precio de los hidrocarburos tuvo una gran influencia en el costo producción de electricidad y por ende del precio, como se puede observar en el gráfico anterior, donde los costos de combustible representan más del 60% del precio medio monómico.

Argentina fue gran productor de gas, pero en las últimas décadas la producción disminuyó haciendo que el precio monómico aumente. En el último período presidencial se favorecieron las inversiones sobre Vaca Muerta, haciendo que ya no sea necesaria la importación de gas. Este proyecto sufre volatilidades en la actualidad, pudiendo ocasionar fluctuaciones en el precio de la electricidad. Este riesgo deberá ser considerado en los proyectos de inversión.

Además de tenerse en cuenta los proyectos que favorezcan la producción de gas, se deben tener en cuenta las estaciones del año. En invierno el consumo de gas para calefaccionar afecta la oferta disponible, reduciendo la capacidad de generación de aquellas generadoras que utilicen la materia prima mencionada.

A continuación, se presenta la evolución en el consumo de gas según el tipo de consumidor.

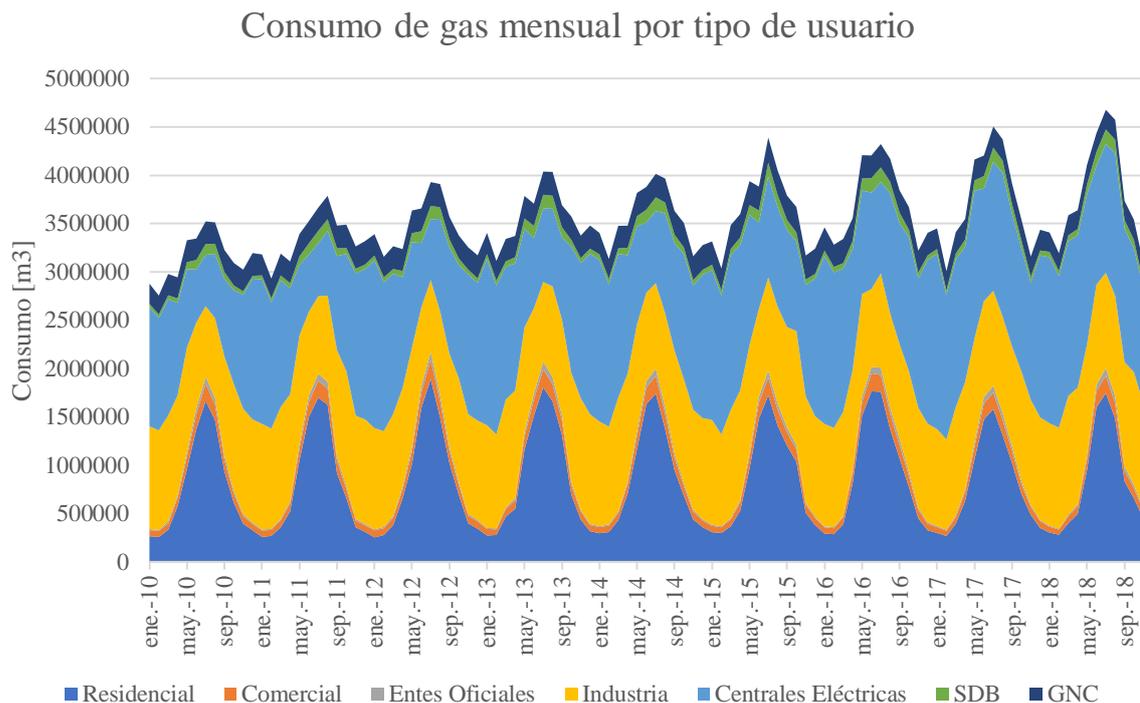


Figura 1.5.1.2. Consumo de gas natural por sector. Elaboración propia a partir de datos de ENER GAS.

La categoría SDB se refiere a los subdistribuidores de gas, mientras que GNC representa el consumo de gas comprimido (GNC) para utilización como combustible de motores.

Como puede observarse, en los meses de junio, julio y agosto se presentan las cimas, mientras que en verano los valles. Esto se debe al comportamiento del consumo residencial.

Las variaciones del precio monómico explicadas únicamente con el consumo de gas no se logra. Sin embargo, se observa que ambos presentan la misma estacionalidad:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

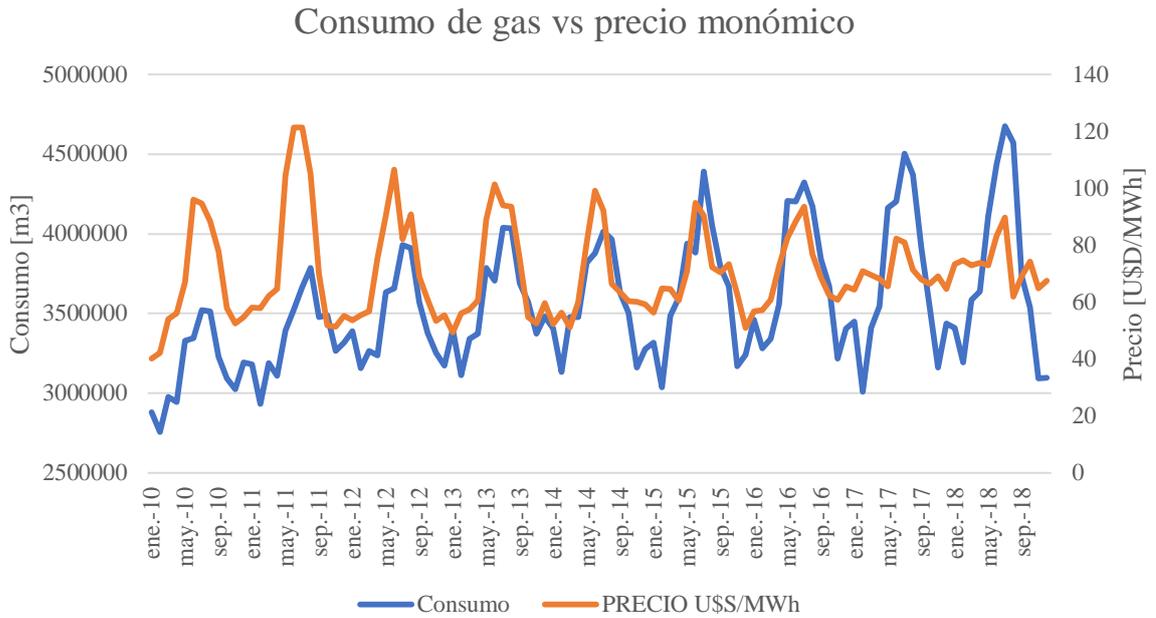


Figura 1.5.1.3. Consumo de gas natural en 2017. Elaboración propia a partir de datos de ENERGAS.

En el siguiente gráfico, puede observarse cómo se comporta el consumo de combustibles para la generación de energía a lo largo de un año, tomándose como ejemplo el año 2017:

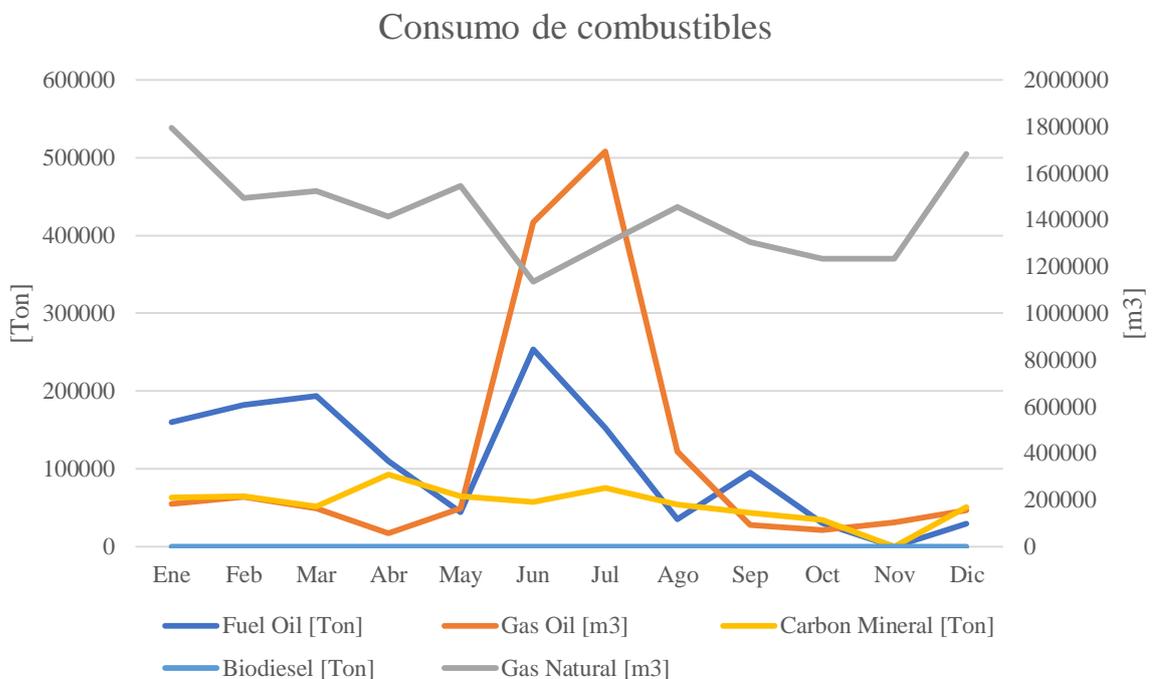


Figura 1.5.1.4. Consumo de combustibles para generación eléctrica en el 2017. Elaboración propia a partir de datos de CAMESA.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se observa en el gráfico, que el gas natural representa el mayor consumo de materia prima respecto a las demás posibilidades. El consumo de Gas Natural disminuye en el mes de junio y aumenta considerablemente el del Gas Oil y en menor medida el del Fuel Oil. Este cambio en la utilización de materia prima se observa como el sobrecosto de combustibles:



Figura 1.5.1.5. Sobrecosto de combustibles para generación eléctrica en el 2017. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Además, el consumo de combustibles ha aumentado desde 2002, siempre predominando el consumo de gas natural para la generación de energía:

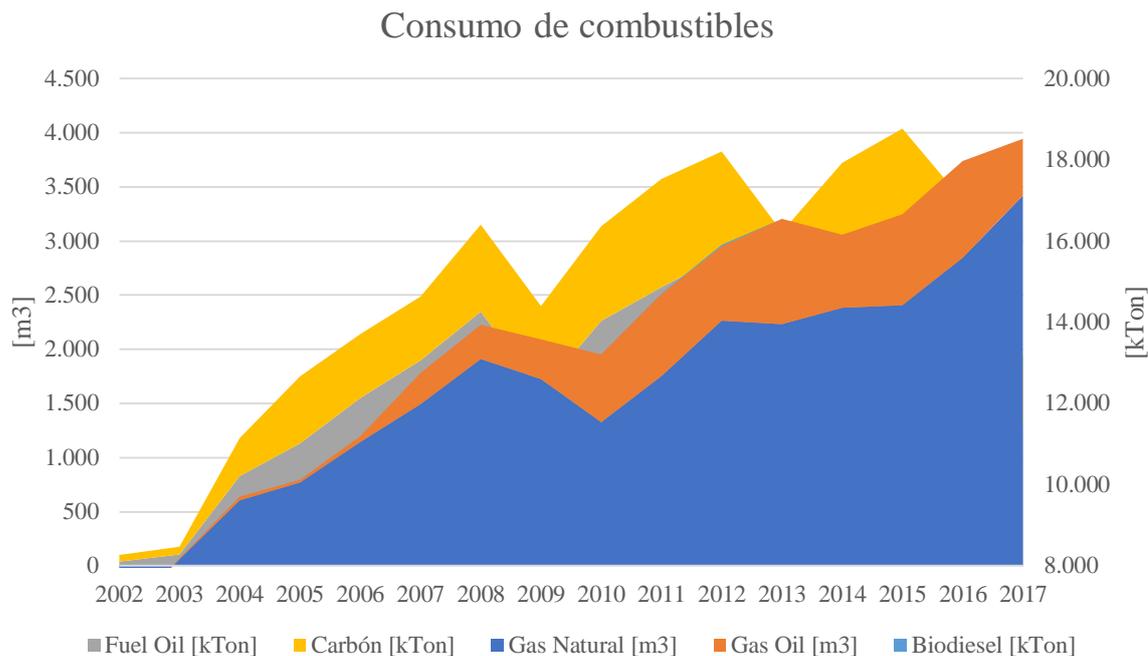


Figura 1.5.1.6. Sobrecosto de combustibles para generación eléctrica en el 2017. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

B) Costo de la potencia disponible

Se asocia con un reconocimiento de los costos fijos de operación para cubrir la demanda más un margen de reserva, independientemente de la generación de energía por parte de la central en cuestión.

C) Costos asociados al transporte de energía

El sistema eléctrico argentino está limitado por las instalaciones que cuenta para el transporte de energía. Esto hace que sean necesarias nuevas inversiones que influyen en el costo de transporte y por lo tanto en el precio monómico. Además, se tienen todos los gastos operativos y de mantenimiento.

D) Exportación e importación de energía

En caso de importación de energía proveniente de países pertenecientes del MERCOSUR, como el caso de energía de centrales hidroeléctrica, el precio es menor, puesto que estas centrales tienen menores costos operativos.

Se asocia con el precio que estarían dispuestos a abonar los consumidores por evitar cortes.

1.5.1.1 Evolución del precio monómico

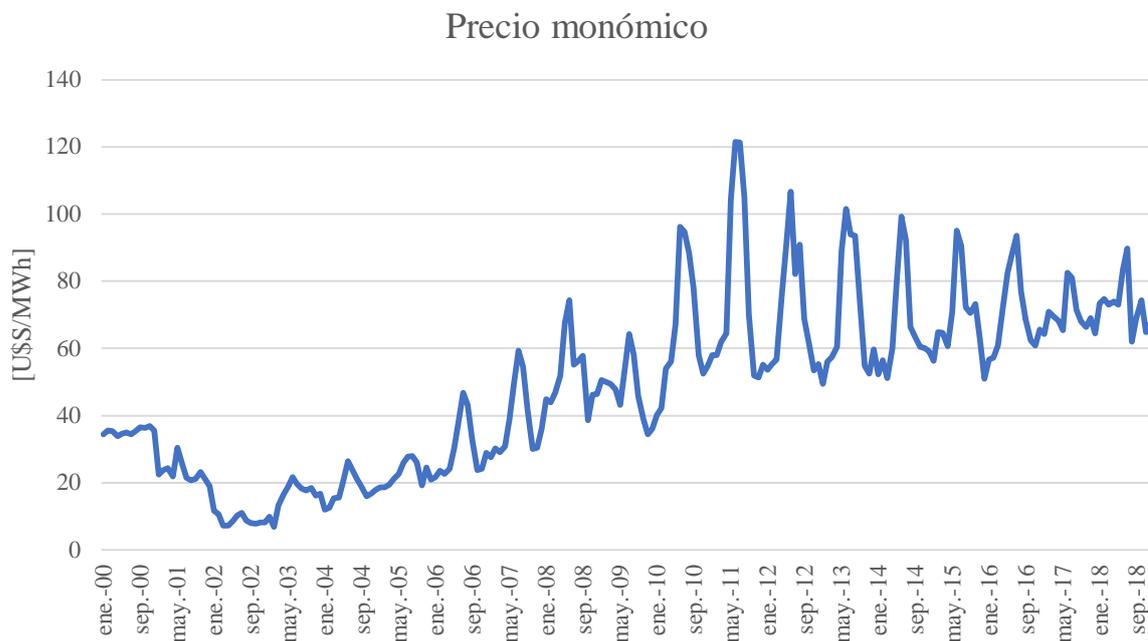


Figura 1.5.1.1.1. Evolución del precio monómico desde 2000 a 2019. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Durante el período 1992-2001 la reducción de la indisponibilidad y la incorporación de nuevos equipos de mayor eficiencia ocasionó una significativa reducción del precio monómico medio de electricidad

Evidentemente entre los años entre 2002 y 2010 hubo una tendencia positiva del precio.

La tendencia alcista entre los años 2002 y 2010 obedecen tanto a causas endógenas como exógenas. Entre las primeras pueden mencionarse el uso de combustibles alternativos de menor rendimiento y mayor costo, la necesidad de mantener la totalidad del parque operando (lo que hace despachar las máquinas de mayor costo) y la importación de energía. Las causas exógenas se relacionan con el aumento internacional del precio de los combustibles. Respecto a este último punto cabe recordar la evolución del precio internacional del barril de petróleo, el cual era de 20 dólares en 2001 y causa de aumentos progresivos alcanzó los 60 dólares en diciembre de 2006 y 90 un año más tarde, seguido de un pico de 135 dólares en junio de 2008, para luego de una brusca caída hacia fines de ese año estabilizarse en los valores de 80-90 dólares. El resto de los combustibles siguieron tendencias similares. Si bien a nivel local el traslado al spot fue demorado (vía

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

congelamientos en el precio de gas natural en boca de pozo), puede estimarse que el impacto en el precio de la energía oscila entre 10 y 15 dólares por MWh para el período 2008-2010.

Luego, en los años posteriores las medias anuales tienden a un mismo valor, desapareciendo la tendencia de los años anteriores.

Además, al ser datos mensuales, puede analizarse la variación del precio en las distintas estaciones del año. Se observa que en los meses cálidos los precios monómicos son menores, mientras que en los meses invernales el precio aumenta. Una de las razones más destacables de este comportamiento, como ya se mencionó anteriormente, se debe a la dependencia de la generación eléctrica con el precio de los hidrocarburos, en particular del gas natural. El precio del gas aumenta en los meses fríos ya que en estos meses invernales se prioriza el consumo de gas para calefaccionar hogares, por lo que la disponibilidad de gas disminuye considerablemente, haciendo que los costos asociados a la generación aumenten.

La evolución del precio monómico presenta un salto en el año 2009-2010, por lo que se consideran todos los datos anteriores de inutilidad para la proyección del precio. Además, se observa que el precio medio estaba alrededor de los 60 USD/MWh, mientras que en los años posteriores se ve un aumento del precio medio, llegando en 2017 a 71 USD/MWh.

En el año 2011 se observa un fuerte aumento de precio respecto a otros años. Esto se debe a que en el invierno de ese año hubo un desabastecimiento de gas, y ENER GAS priorizó por ley el consumo residencial. Ante este desabastecimiento, los costos de las centrales térmicas aumentaron debido a que tuvieron que recurrir a materias primas más caras, como lo es el fuel oil.

En el año 2017 y 2018 se observa que el precio monómico disminuyó la magnitud de las fluctuaciones que presentaba en años anteriores.

1.5.1.2 Proyección del precio monómico

El objetivo de esta proyección es poder estimar cuál será el precio futuro medio de la electricidad. Se propone estimar el precio de las compras conjuntas y el precio del

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

MATER a partir de este análisis. Para esta estimación, se propone calcular un factor que identifique cómo se relacionan los precios de estos mercados con respecto al monómico.

Teniendo en cuenta el análisis sobre el precio histórico anterior, se propuso en principio descartar los datos anteriores al 2012 utilizando para su proyección los datos entre 2012 y 2019 hasta donde permita la disponibilidad de datos del momento. De esta forma se evita por un lado el pico del año 2011, por otro lado, se evita usar datos que presentan la tendencia positiva de los años 2002 a 2008, la cual no se mantuvo en los últimos años.

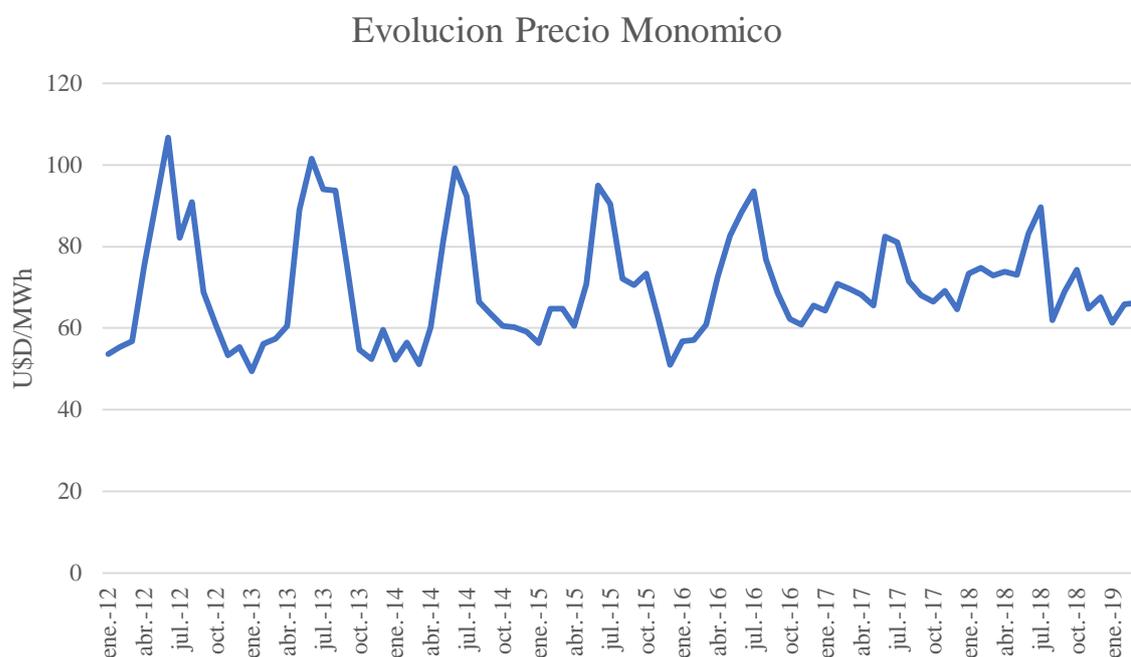


Figura 1.5.1.2.1. Evolución del precio monómico desde 2012 a 2019. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Sin embargo, debido a que los datos utilizados corresponden solamente a 6 años, se deben tener en cuenta los precios desde el año 2002, para ampliar la cantidad de datos y así la precisión de las proyecciones.

Para la proyección del precio monómico se aplica el método de Mean Reversion al mismo, dado que se puede entender la energía como un commodity. Para validar la utilización de la proyección es necesario el análisis de Random Walk.

El resultado de la proyección con el método de Random Walk con datos desde el 2012 se muestra a continuación, seguido de las proyecciones a partir del método Mean Reversion:

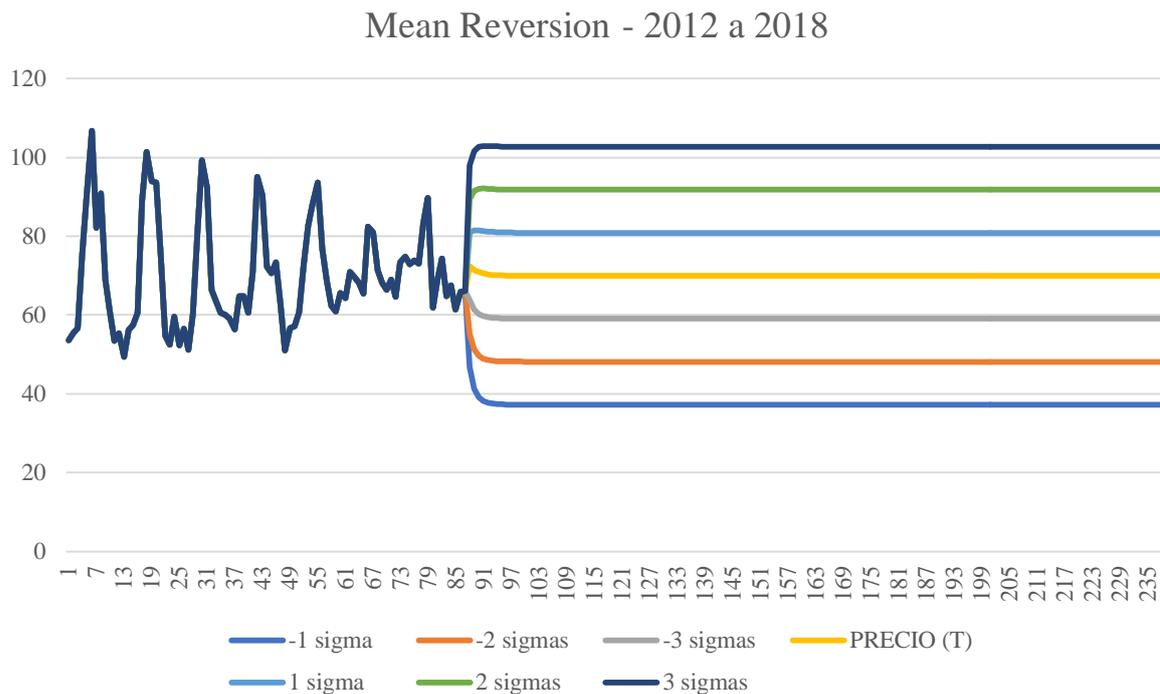


Figura 1.5.1.2.2. Proyección del precio monómico (datos desde 2012, precios mensuales).

Tanto la correlación de los precios como de los residuos son aceptables. Se propuso desestacionalizar la serie, pero no hubo cumplimiento de los requisitos del Random Walk, cuyos resultados se presentan en el anexo.

En el caso de utilizar los datos anuales desde el 2002, los resultados son los siguientes:

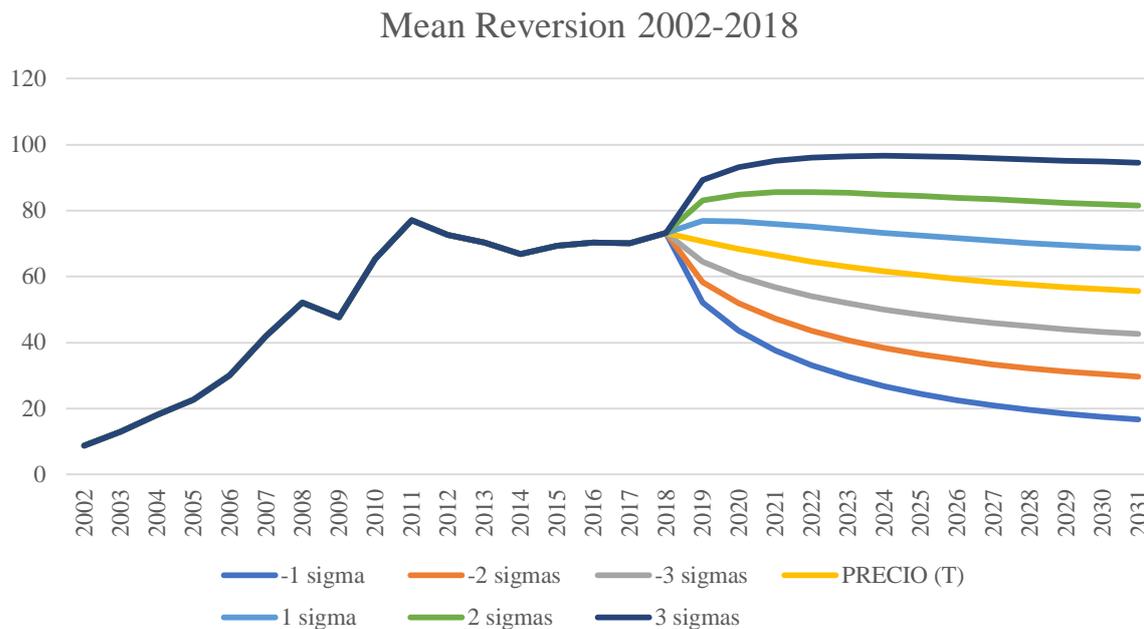


Figura 1.5.1.2.3. Proyección del precio monómico (datos desde 2012, precios desestacionalizados).

Sin embargo, el análisis de los residuos de esta proyección (Mean Reversion con precios anuales) no cumple los supuestos. Los residuos se presentan en el anexo.

Los precios proyectados por CAMMESA se muestran debajo. Se puede observar que el costo medio (entendido como el precio monómico) hacia el 2022 es de 71 U\$D/MWh, mientras que el precio adjudicado en las licitaciones de energías renovables es de 61 U\$D/MWh. Estas proyecciones coinciden con las proyecciones de 2012, donde el precio proyectado es de 69 U\$D/MWh, reforzando la elección de la proyección con los datos desde el 2012.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

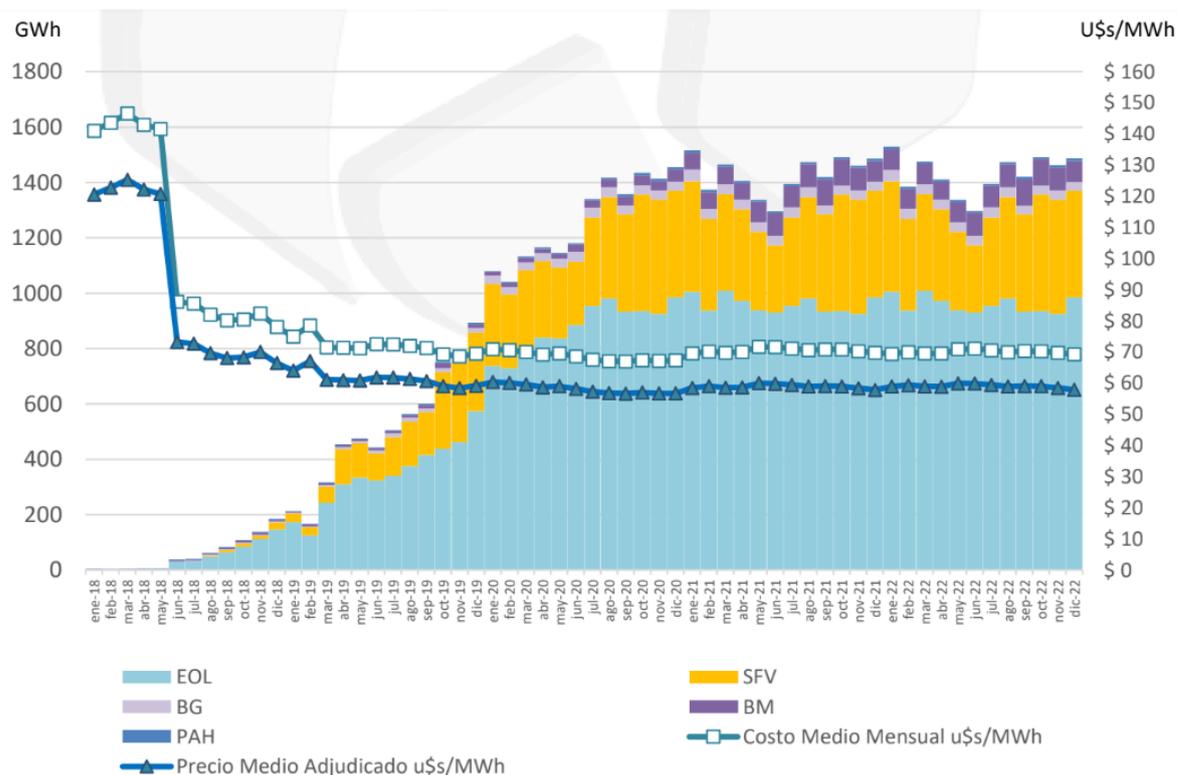


Figura 1.5.1.2.4. Proyección del precio monómico de CAMMESA.

Otro modo para determinar el precio monómico fue mediante una regresión múltiple, tomando precio del gas natural y del barril del petróleo como variables independientes. Los resultados se presentan en la siguiente figura:

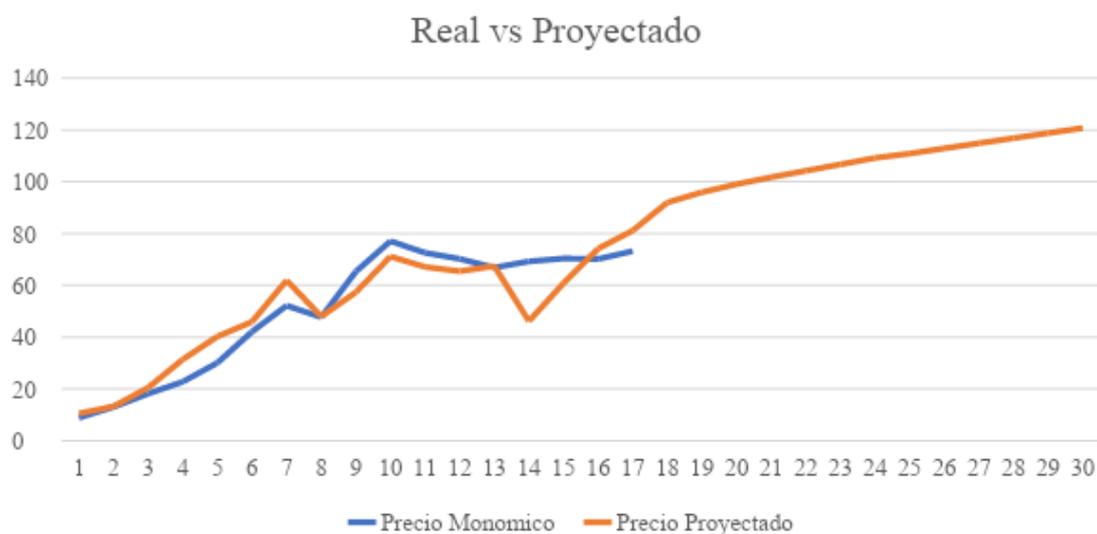


Figura 1.5.1.2.5. Proyección de precio monómico.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En este caso el precio proyectado supone un crecimiento del precio monómico. Esto se debe a que ambas variables explicativas muestran en sus proyecciones crecimientos de precio, en especial el precio del barril del petróleo. De todos modos por la variabilidad del gas, esta no es concluyente y se optó por la primera propuesta planteada. Esta última se encuentra desarrollada en detalle en el anexo del trabajo.

Por estos motivos, se decide tomar la proyección obtenida a partir del método de Mean Reversion tomándose los datos desde el 2012. Esta proyección es utilizada para estimar el precio del MATER. Previamente a definir este precio, se estudian las rondas del programa RenovAr y sus precios.

1.5.2 RenovAr

1.5.2.1 Ronda 1 y 1.5

En Julio de 2016 se presentó el Pliego de Bases y Condiciones para la primera ronda del programa. En este se establecieron todas las condiciones para presentar proyectos de generación de energía eléctrica a partir de energías renovables, así como las documentaciones obligatorias, características del proyecto, fechas de entrega, entre otros aspectos.

Los proyectos para presentar podían ser de centrales de generación nuevas o de ampliaciones. La potencia total que se encontraba disponible para adjudicación en esta convocatoria era según la tecnología la que se presenta a continuación:

Tecnología	Potencia requerida [MW]	Potencia mínima por proyecto [MW]	Potencia máxima por proyecto [MW]
Eólica	600	1	100
Solar fotovoltaica	300	1	100
Biomasa (combustión y gasificación)	65	1	65
Biogás	15	1	15
PAH	20	0.5	20
Potencia Total Requerida	1000	-	-

Tabla 1.5.2.1.1. Potencia requerida según tecnología de generación de energía.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En octubre del mismo año se adjudicaron las ofertas y la convocatoria terminó en noviembre cuando se firmaron los contratos. Fueron adjudicado 29 proyectos con una potencia total de 1142 MW.

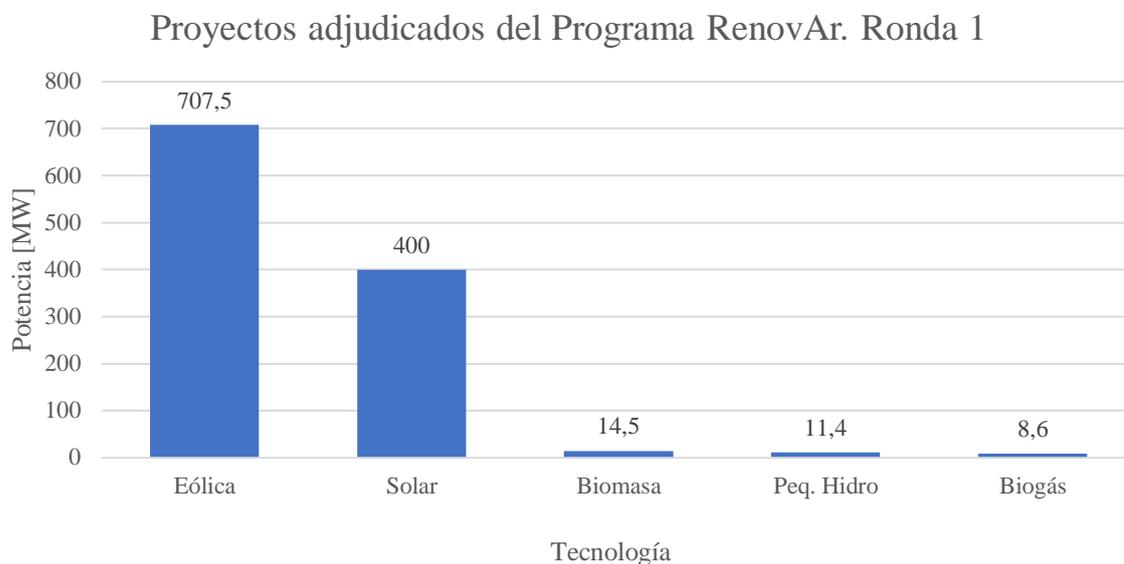


Figura 1.5.2.1.1. Potencia total por tecnologías de generación de energía.

Los precios adjudicados por tecnología en USD/MWh se presentan a continuación

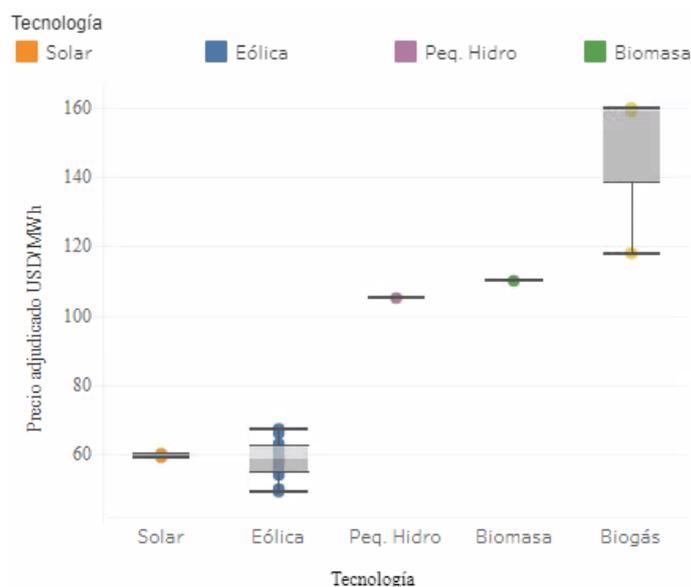


Figura 1.5.2.1.2. Precios adjudicados por tecnología. Fuente: Ministerio de Energía y Minería.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se puede observar que las tecnologías de PAH y biomasa no tienen dispersión de precios, siendo los mismos de 105 USD/MWh y 110 USD/MWh respectivamente. El precio de la energía solar tampoco presenta mucha variación entre proyectos siendo el promedio de 59,5 USD/MWh. En cambio, la energía eólica si posee precios dispersos con una mediana de 58,5 USD/MWh, un precio máximo de 67,2 USD/MWh y un mínimo de 49,1 USD/MWh. En energía eléctrica a partir de biogás el precio promedio por MWh fue de 158,92 USD, con un precio mínimo de 118 USD/MWh y máximo de 160 USD/MWh.

Debido al éxito de la licitación en la ronda 1 se decidió llamar a la ronda 1,5, la oferta era para aquellos proyectos que se presentaron en la ronda 1 pero que no fueron adjudicados. Se sumaron 30 proyectos con una potencia total de 1281,5 MW distribuidos por tecnologías como se presenta a continuación:

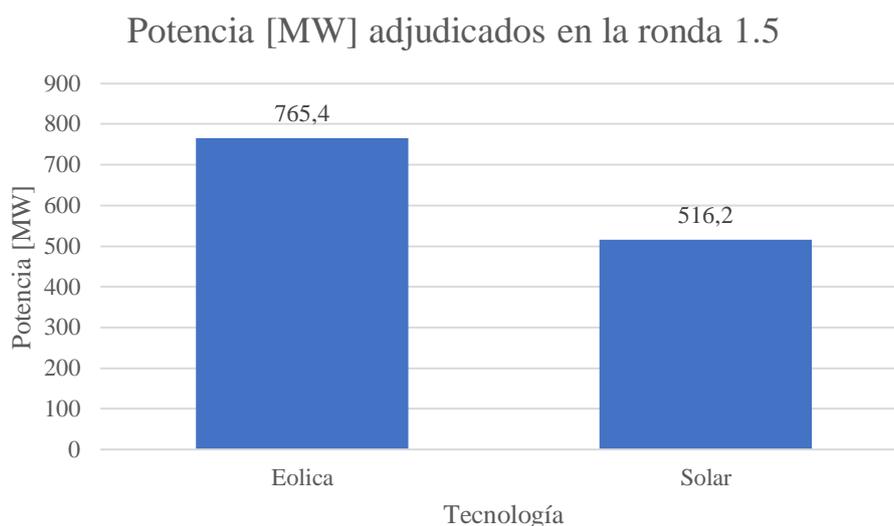


Figura 1.5.2.1.3. Potencia total adjudicada en la ronda 1.5.

A diferencia de la anterior ronda los proyectos aceptados fueron solo para energía solar y eólica. El promedio de precio fue de 55,12 USD/MWh para solar y 54,94 USD/MWh para eólica.

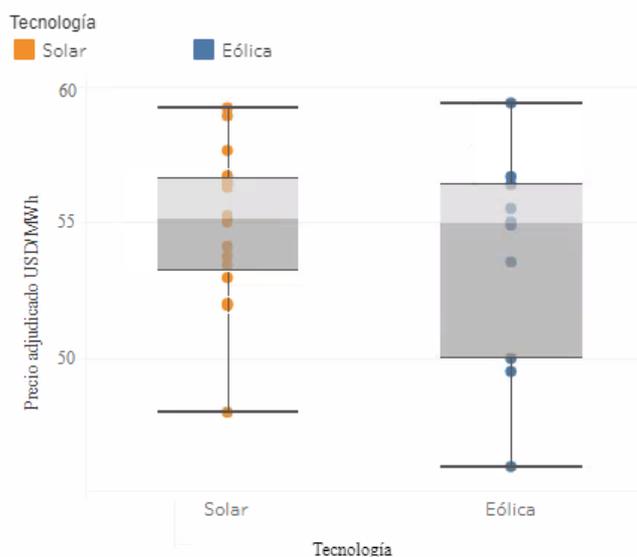


Figura 1.5.2.1.4. Precios de la ronda 1.5. Fuente: Ministerio de Minería y Energía .

1.5.2.2 RenovAr Ronda 2 y 2.5

La ronda 2 del programa se presentó el 16 de agosto de 2017 con la publicación de los documentos y el pliego de bases y condiciones correspondiente. Para esta la potencia a adjudicar era de 1200 MW y a diferencia de las anteriores rondas se especificó cuál sería el precio máximo de adjudicación por tecnología.

Tecnología	Potencia requerida [MW]	Potencia mínima por proyecto [MW]	Potencia máxima por proyecto [MW]	Precio Máximo de Adj. [USD/MWh]
Eólica	550	1	100	56,25
Solar fotovoltaica	450	1	100	57,04
Biomasa	100	0,5	50	110
Biogás	35	0,5	10	160
Biogás de Relleno Sanitario	15	0,5	10	130
PAH	50	0,5	50	105
Potencia Total	1200			

Tabla 1.5.2.2.1. Potencia requerida en la ronda 2 y 2.5 por tecnología.

Es importante destacar que en esta ronda se incorporó, a diferencia de las rondas anteriores, el biogás proveniente de rellenos sanitarios como una de las tecnologías que se podían presentar para la licitación. El precio máximo a presentar en la licitación para esta tecnología fue de 130 USD/MWh, valor que se mantuvo en la ronda 3.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

La adjudicación de ofertas fue el 29 de noviembre de 2017 y las firmas de contratos se extendieron hasta mayo del año siguiente. Durante esta ronda fueron adjudicados un total de 88 proyectos por una potencia total de 2043 MW distribuidos de la siguiente manera:

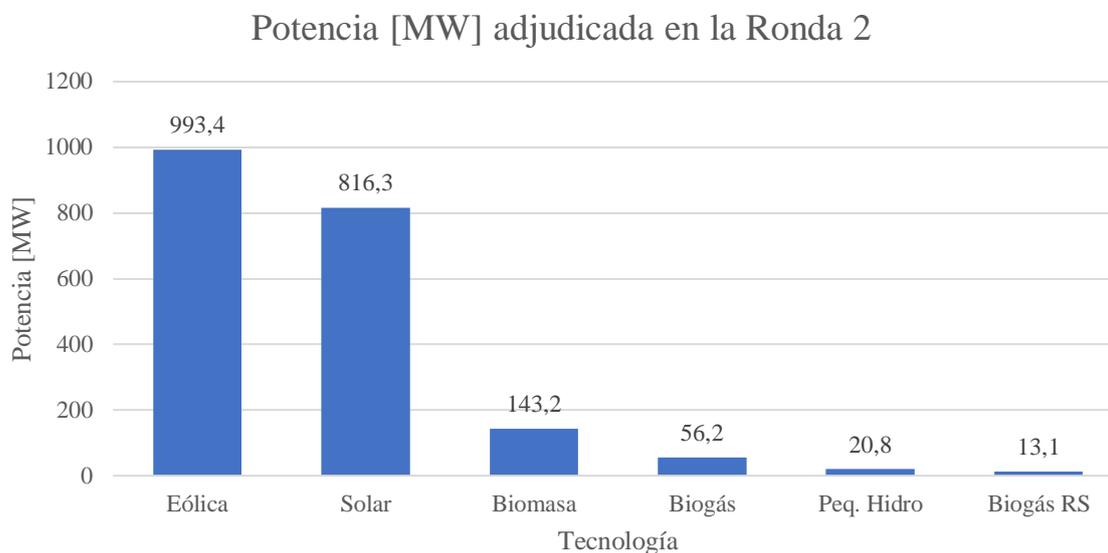


Figura 1.5.2.2.1. Potencia total adjudicada por tecnología.

Los precios promedios fueron de 42,3 USD/MWh para energía solar, 40,6 USD/MWh en eólica, 100,9 USD/MWh para PAH, 126,3 USD/MWh para biomasa, 169 USD/MWh para biogás y 129,4 para biogás de relleno sanitario, en este último caso un valor muy cercano al máximo. La distribución de precios por tecnología se puede ver a continuación:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

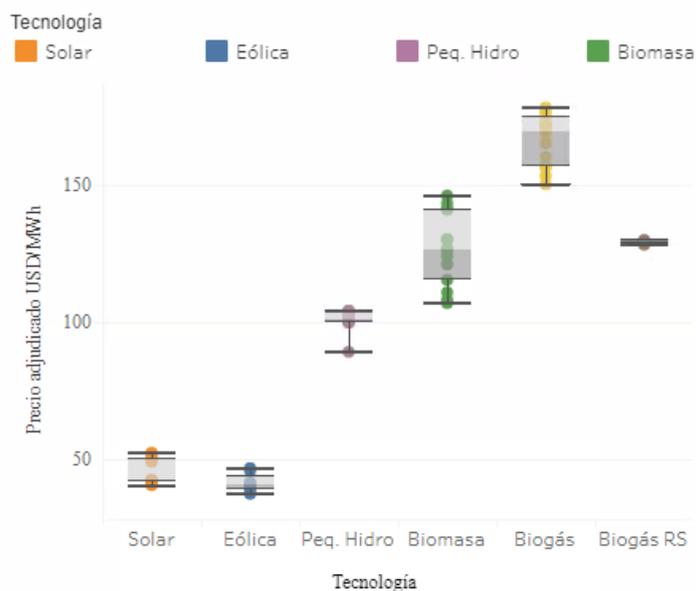


Figura 1.5.2.2.2. Precios adjudicados por tecnología. Fuente: Ministerio de Energía y Minería.

Los proyectos de biogás a partir de residuos sanitarios en esta ronda fueron 3, dos en la provincia de Buenos Aires ambas con el mismo oferente, Industrias Juan F Secco S.A. (una de las cuales está ubicada en el complejo CEAMSE) y una en Santa Fe con el oferente Global Green Ricardone S.A.

El proyecto en Santa Fe fue por 3,12 MW de potencia a un precio de 128 dólares el MWh. En Buenos Aires ambos proyectos fueron por 5 MW de potencia con precios muy similares de 129,7 USD/MWh y 129,4 USD/MWh.

Proyectos adjudicados a biogás RS

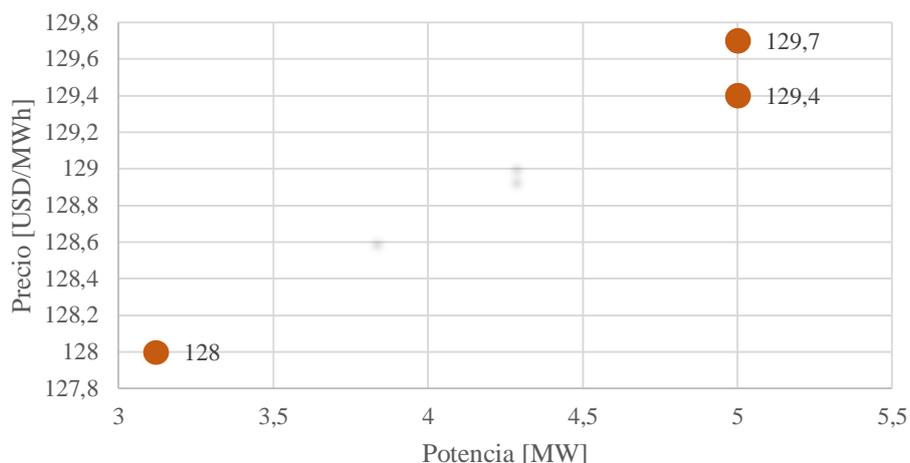


Figura 1.5.2.2.3. Precio vs Potencia para los proyectos de biogás a partir de relleno sanitario de la ronda 2.

1.5.2.3 RenovAr ronda 3

En noviembre de 2018 se lanzó la tercera ronda del programa que se verá finalizada en mayo de 2019 según el cronograma presentado. Durante esta ronda no se podrían presentar proyectos que impliquen la ampliación de proyectos adjudicados en las rondas anteriores.

El objetivo de esta ronda es aprovechar la capacidad disponible de las redes de media tensión. La potencia total requerida en esta convocatoria es de 400 MW con la siguiente distribución según tecnologías:

Tecnología	Potencia Requerida [MW]	Potencia mínima por proyecto [MW]	Potencia máxima por proyecto [MW]	Precio Máximo de Adj. [USD/MWh]
Eólica / Solar fotovoltaica	350	0,5	10	60
Biomasa	25	0,5	10	110
Biogás	10	0,5	10	160
Biogás de relleno sanitario	5	0,5	10	130
PAH	10	0,5	10	105
Potencia Total	400	-	-	-

Tabla 1.5.2.3.1. Potencia requerida por tecnología para la ronda 3.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

1.5.3 Precio en las compras conjuntas

La compra conjunta, por su parte, tiene un cargo asociado de comercialización. Este costo es variable y aumenta de forma progresiva, afectando el precio final que debe pagar el consumidor de energía. Además, se aplica un cargo de administración, fijado en 0,5 USD/MWh sin modificaciones en el tiempo.

2017 – 2018	2019 – 2020	2021 – 2022	2023 – 2024	2025 – 2030
0	6	10	14	18

Tabla 1.5.3.1. Evolución del cargo de comercialización máximo (USD/MWh).

2017 – 2018	2019 – 2020	2021 – 2022	2023 – 2024	2025 - 2030
0	0,05	0,05	0,05	0

Tabla 1.5.3.2. Evolución del cargo de administración máximo (USD/MWh)

La evolución del precio medio pagado por CAMMESA en los programas RenovAr se muestra a continuación:

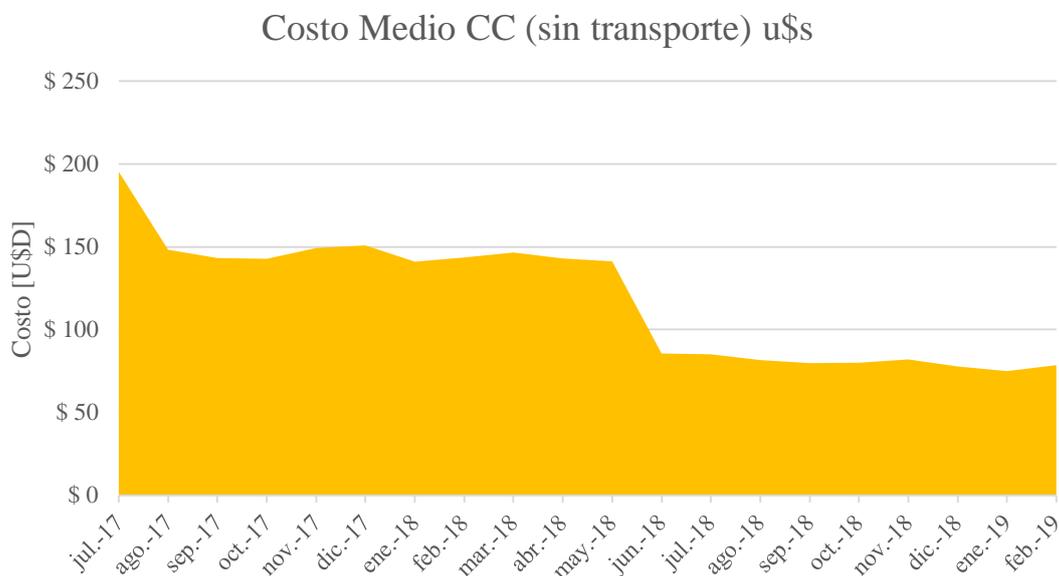


Figura 1.5.3.1. Costo Medio de las compras conjuntas. Fuente: CAMMESA.

El gráfico indica que el precio en las compras conjuntas tiene una tendencia a estabilizarse alrededor de los 65 USD/MWh, siendo el valor de febrero de 2019 de 67 USD/MWh.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Según los datos obtenidos de las nuevas licitaciones del programa RenovAr, se puede conocer que el precio va a ser aproximadamente el mencionado anteriormente. Esto se debe a los contratos adjudicados en los contratos RenovAr que ya se han firmado, pero todavía no han empezado a generar electricidad.



Figura 1.5.3.2. Costo Medio de las compras conjuntas. Fuente: CAMMESA.

Estos valores se les deben sumar los cargos correspondientes explicados anteriormente (administración y comercialización, además de otros cargos como por ejemplo cargos por potencia instalada) para ser representativos de los precios pagados por los usuarios que decidan quedarse en las compras conjuntas. El precio variará según la potencia, puesto que el cargo de comercialización es variable según los MWh entregados. A modo de ejemplo se presentan dos casos en los que el GU decida quedarse en las compras conjuntas, en el período de 2018 a 2022. Estas proyecciones son realizadas por ADIMRA, los cuales se corroboran con proyecciones realizadas por otra fuente (presentadas en el anexo, fuente Latin Energy Group):

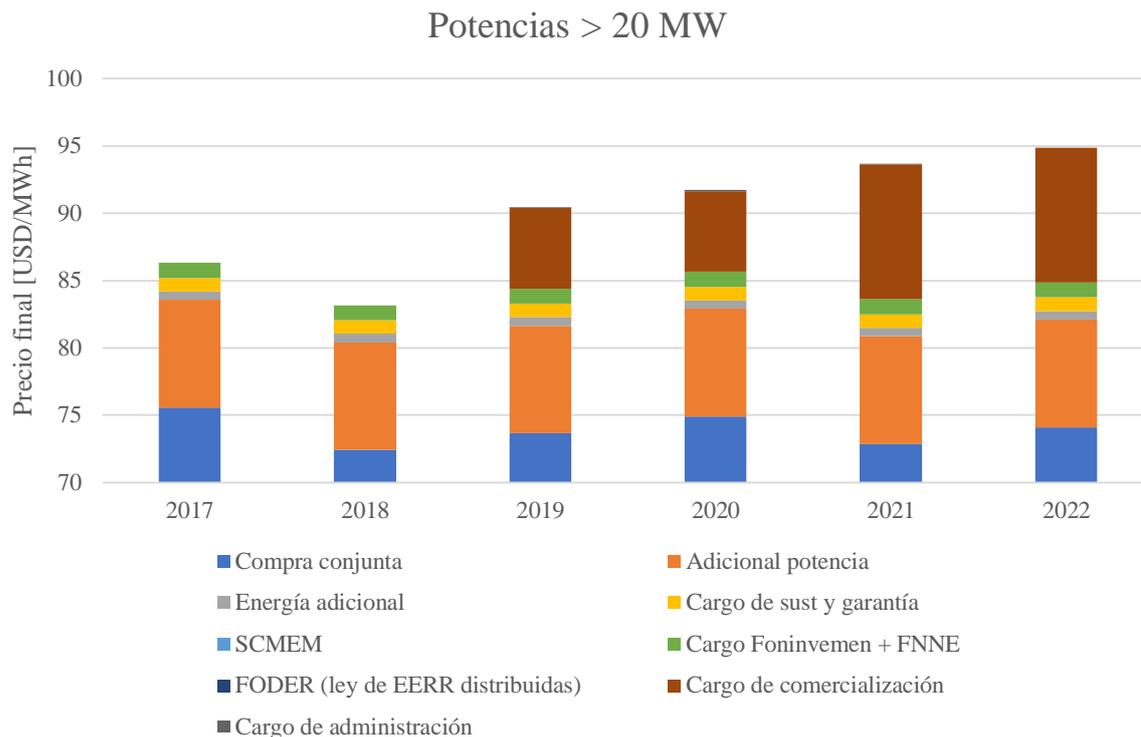


Figura 1.5.3.3. Costo Medio de las compras conjuntas para GUH. Fuente:ADIMRA.

En este caso la potencia requerida es de 20 MW. Puede notarse cómo el precio aumenta debido a los cargos de administración y comercialización, pasando el precio a ser mayor que los 90 U\$D/MWh en los últimos años.

Sin embargo, un caso distinto es el de un GU que requiera una potencia menor, como el caso en el cual la potencia requerida es de 5 MW: el precio llega a ser de alrededor de los 85 U\$D/MWh.

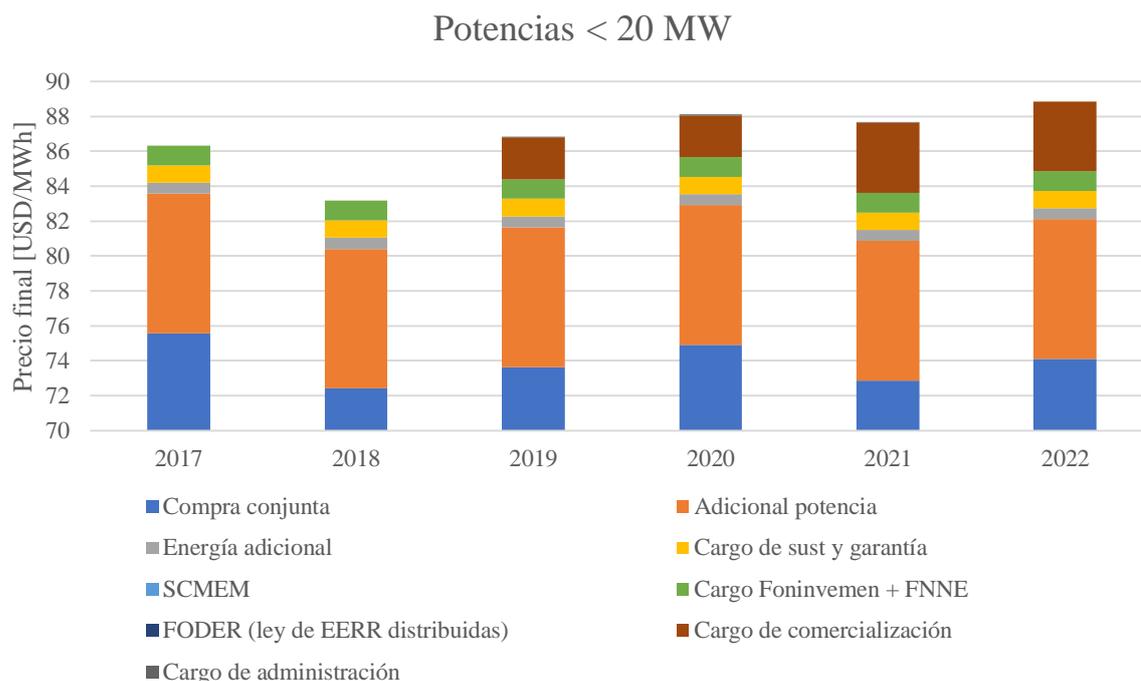


Figura 1.5.3.4. Costo Medio de las compras conjuntas para GUH. Fuente:ADIMRA.

Estos precios son los finales que debe abonar el GU que participe de las compras conjuntas. Se puede notar como el precio pagado varía según la potencia requerida. Hacia el año 2032 el precio varía desde aproximadamente los 87 U\$D/MWh a los 100 U\$D/MWh. Cabe aclarar que el cargo del FODER se decidió quitarlo de los cargos, sin embargo, el costo de este no es relevante frente al costo total de la energía que pagarán los consumidores.

Los precios esperados en el mecanismo propuesto por CAMMESA hacen que la voluntad de irse de las compras conjuntas aumente, dado que los precios en el mercado MATER serán parecidos a los precios que perciben los generadores en los programas RenovAr. Estos precios medios se muestran a continuación:

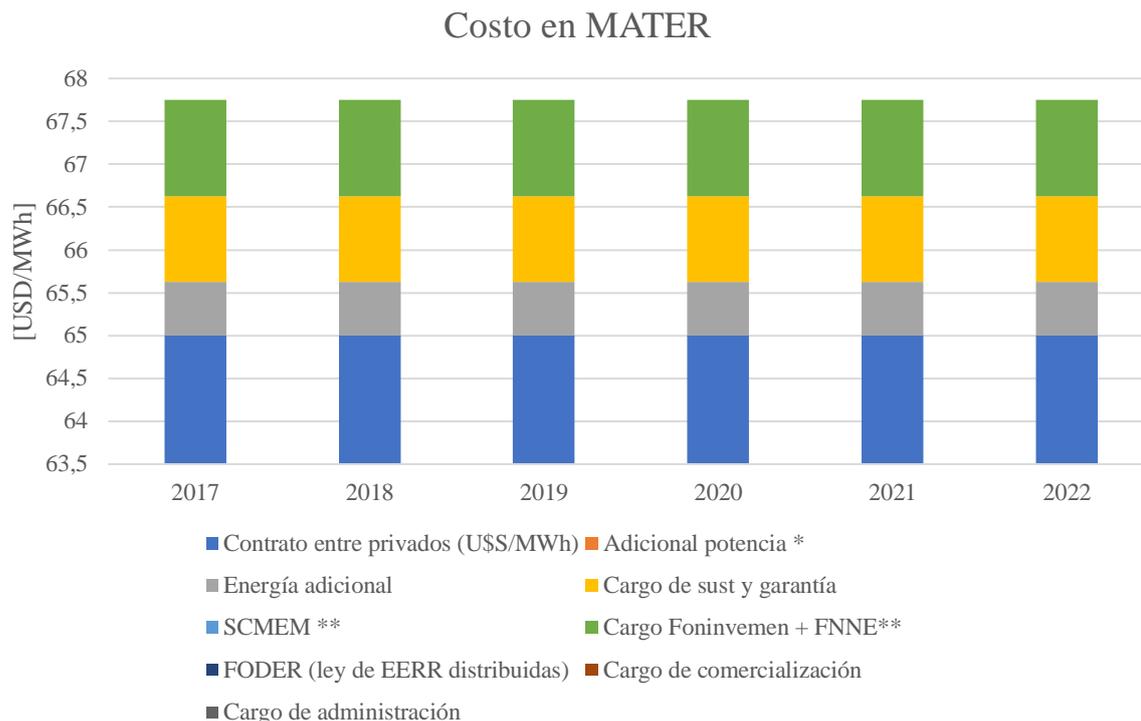


Figura 1.5.3.5. Costo Medio de las compras conjuntas para GUH. Fuente:ADIMRA.

Luego, salirse de las compras conjuntas representa un ahorro directo en los costos de energía. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la disponibilidad de CAMMESA de abastecer con fuentes renovable el consumo de las compras conjuntas. Es decir, si CAMMESA no es capaz de abastecer la demanda con el porcentaje exigido, el precio cobrado será solo sobre ese porcentaje. Por ejemplo, si el consumo de energía a partir de fuentes renovables es representado por el 4%, entonces el precio de las compras conjuntas corresponderá sólo para ese 4% y el resto del consumo se pagará con el precio de mercado. De esta forma se logra amortiguar el elevado precio final de las compras conjuntas. Esto quiere decir que un desabastecimiento de la demanda será beneficioso para las generadoras, puesto que es sabido que de quedarse en las CC los GUH deberán pagar cargos extras de comercialización (significando un sobre costo desde un 17% hasta un 27% para generadoras con 1,5 MW o mayores a 20 MW de potencia media demandada).

Luego, si la capacidad de abastecer con energía de fuentes renovables de CAMMESA aumenta, ingresar al MATER será la mejor opción para las generadoras, debiéndose evaluar el riesgo de esta acción.

1.5.4 Precios MATER

Este mercado, al ser entre privados, no cuenta con información abundante para poder estimar su precio. Sin embargo, se puede estimar que el precio actualmente está alrededor de los 60 y 70 U\$D/MWh.

En el caso de empresas públicas que a su vez sean grandes usuarios, se puede conocer el precio en caso de que hayan decidido entrar en el MATER. Esto se debe a que las empresas estatales buscan los mejores precios posibles a través de licitaciones y tienen la obligación de hacer pública esta información. Un ejemplo de esta situación es el caso de Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA), la cual decidió ingresar al mercado entre partes a principios del 2019. Entre las empresas participantes se encontraron YPF y Central Puerto. La empresa ganadora de la licitación fue Central Puerto (proponiendo como fuente renovable la energía eólica), por una diferencia de 3 U\$D/MWh. Los precios ofertados por cada empresa se muestran en el anexo.

A modo de resumen, el precio ofertado depende del plazo de contratación y demanda media anual, disminuyendo a mayores plazos.

Para un contrato de 10 años, las empresas presentaron precios de 61,5 U\$D/MWh en el caso de Central Puerto y de 64,66 U\$D/MWh en el caso de YPF. La ganadora de la licitación fue Central Puerto, pero para cerrar el contrato se tuvo que definir primero el plazo del mismo.

Una aclaración importantes de esta situación es que tanto las generadoras como AySA cuentan con la información de las proyecciones de precio en las compras conjuntas y del precio monómico, siendo esta información tenida en cuenta al momento de realizar el contrato.

En Chile el precio de las compras conjuntas promedio es mucho menor, siendo su relación con el precio promedio de la energía de hasta 50%. Esto significa que puede esperarse que el precio promedio de las licitaciones disminuya, por lo que puede resultar conveniente realizar los contratos MATER a largo plazo, dado que se corre el riesgo de que el precio de las compras conjuntas disminuya y por lo tanto también el precio del MATER, puesto que el mismo están relacionados. Es decir, si la oferta de renovables sigue creciendo, el MATER se volverá más competitivo pudiendo imposibilitar el ingreso

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario de la tecnología propuesta al mismo. Por otra parte, el precio de los contratos a plazos menores es mayor, por lo que debe evaluarse este aspecto.

Por este motivo es que debe evaluarse los beneficios y riesgos de dos escenarios distintos: un contrato de largo plazo, o dos contratos de plazos menores.

Una de las hipótesis que se plantea en el presente proyecto de inversión es que el precio en el mercado MATER adoptará un valor ligado al precio de las compras conjuntas pagado a las generadoras. Esta hipótesis se basa en dos premisas:

1. El acuerdo entre los privados tiene un beneficio mutuo. Por un lado, las empresas evitan abonar los cargos que rigen a partir del 2019, los cuales afectan significativamente el precio final. Por el lado del generador, logra obtener un precio mayor al de las licitaciones, por ejemplo, en el caso de AySA se trató de energía eólica, la cual tuvo un menor precio promedio en el RenovAr.
2. Las empresas que ingresen al MATER tienen el riesgo de entrar en un contrato y, por lo tanto, en una obligación de compra que puede llegar a perjudicarlos en el largo plazo. La existencia de posibles penalizaciones hace que el precio que están dispuestos a pagar sea menor que el de las compras conjuntas (sumando los cargos correspondientes).

El mercado actualmente no percibe las diferencias de precio, puesto que los cargos aumentan a partir de 2019. Estos cargos permiten inducir a que el número de GUH que abandonen las compras conjuntas serán mayores en los próximos años.

Respecto al potencial del MATER, la cantidad de usuarios habilitados para ingresar al MATER es aproximadamente de 2300 GUH (90% de los GUMA, 30% de los GUME y 12% de los GUDI). Sin embargo, no todos ellos deciden abandonar la compra conjunta por las razones mencionadas anteriormente. A datos de febrero de 2019, son más de 150 los GUH que han decidido salirse de las compras conjuntas, teniendo la mayoría de estas demandas menores a los 5 MW. Estos salen de las compras conjuntas indicando la potencia esperada que van a demandar en el MATER luego de haber cerrado un contrato con un generador o haberse dispuesto de equipos para la autogeneración, sumando todos ellos un total de 209,25 MW de potencia. La potencia total requerida para abastecer a los GUH es de aproximadamente 3447 MW. Luego, los GUH que entraron al MATER representan actualmente tan solo un 6% de la potencia demandada.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Cabe aclarar que los GUH pueden adoptar estructuras mixtas, es decir, pueden quedarse en las compras conjuntas y además comprar energía renovable con un acuerdo en el mercado a término de renovables. Esto los favorece puesto que no se exponen a las penalizaciones por incumplimiento de porcentaje de consumo.

1.5.5 Relación entre precio monómico, CC y MATER

Para relacionar el precio de las compras conjuntas con el del MATER, se propone utilizar un factor que las relacione. Para relacionar las compras conjuntas con el precio monómico se evalúa su tendencia:

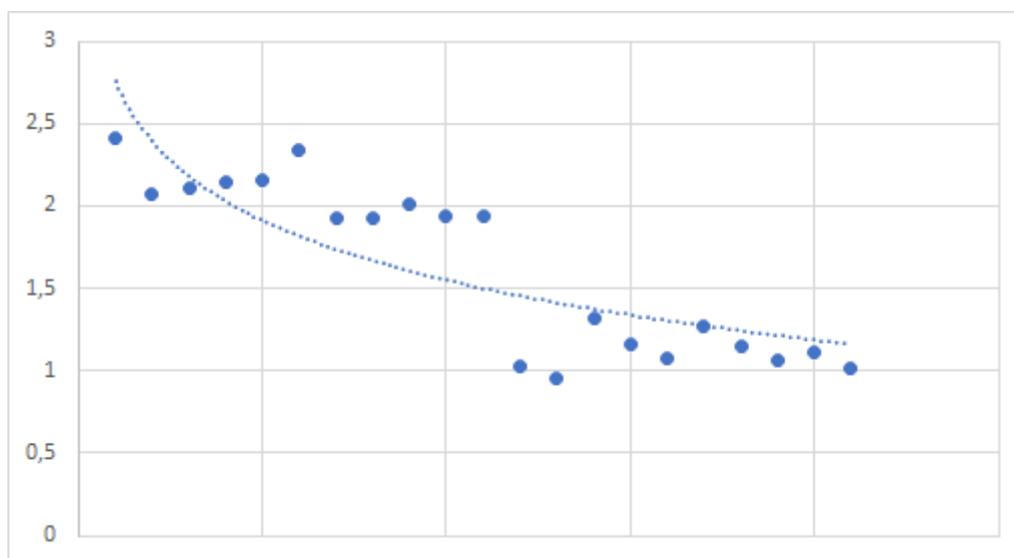


Figura 1.5.5.1. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Los primeros años de las compras conjuntas mostraban un claro sobreprecio. Esta situación puede explicarse debido al inicio del programa, donde se buscaba promover la instalación de plantas de energías renovables. En los primeros periodos se disponía de instalaciones más caras de mayor facilidad de instalación. Sin embargo, los precios fueron bajando por la disponibilidad de los parques eólicos y solares, con precios adjudicados más baratos. Se puede notar que, a partir de junio de 2018, el factor se estabiliza, tomando como valor para todos los meses posteriores iguales a la unidad.

Este valor puede ser modificado en el tiempo, como se mostró en la figura anterior. Sin embargo, en los últimos meses se puede ver que el mismo se estabiliza. Por lo que se considerará que el factor no cambiará.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En el caso de los precios del MATER, se estima el precio estimado a corto plazo de 63 U\$D/MWh y a largo plazo de 59 U\$D/MWh, se obtienen los siguientes factores:

Factor 1	Precio CC/Precio Monómico
Factor 2	Precio MATER CP/Precio CC
Factor 3	Precio MATER LP/Precio CC

Tabla 1.5.5.1. Factores obtenidos.

Adoptando cada uno los siguientes valores:

Factor 1	1,02668011
Factor 2	0,89092559
Factor 3	0,83344652

Tabla 1.5.5.2. Valores para cada uno de los factores.

Esto quiere decir que se espera que el precio de las licitaciones sean similares al precio monómico, mientras que los precios del MATER estarían por debajo de estos.

Mediante estos factores y las proyecciones sobre el precio monómico, se podrá obtener el precio futuro estimado de los contratos en el MATER.

1.5.6 Precios estimados

Luego de tener en cuenta los dos mercados posibles en los que se pueden ofrecer los MW resultantes de la ampliación, es claro que el escenario más favorable es la participación en el programa RenovAr. En el mismo, los precios adjudicados en rondas anteriores son aproximadamente de 129 U\$D/MWh.

Al comparar los riesgos y beneficios de los mercados, resulta claro que el RenovAr también es el más favorable. Además, de entrar en el RenovAr, puede gozar de todos los beneficios fiscales del programa. Por otro lado, en el MATER se debe conseguir un acuerdo con un privado, lo cual puede resultar desfavorable para la empresa al momento de conseguir un GUH dispuesto a asumir este compromiso, siendo el riesgo mayor si los contratos son de menores plazos.

Por lo tanto, el escenario más favorable es licitar en una siguiente ronda RenovAr 3.5 (si se da la posibilidad de ofertar, dado que estas rondas están acotadas a energías renovables convencionales (eólicas y solares)) o en una ronda 4.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Suponiendo el ingreso a inicios del 2020, se estima el precio según el mercado en los siguientes apartados.

1.5.6.1 Precio RenovAr ronda 4

Al haber estudiado las distintas posibilidades, se cree que es posible ofertar en este programa un precio cercano a los 130 U\$D/MWh. Esto surge como conclusión de las rondas RenovAr previas, donde el precio adjudicado rondaba los 129 U\$D/MWh. Otra de las razones por las cuales se supone que es válido el precio es el aumento esperado de la demanda, la cual ha sido proyectada anteriormente. Como se explicó, la demanda de energías renovables aumentará no solo por el incremento de la demanda total sino por la ley 27.191 la cual establece los porcentajes mínimos de abastecimiento de energía a partir de fuentes renovables. Además, estos porcentajes no se están cumpliendo en la actualidad, haciéndose más urgente la necesidad de fuentes de energías renovables que no presenten intermitencia en la generación.

Sin embargo, se considera que esta oferta puede llegar a ser riesgosa en caso de que el límite establecido en la ronda RenovAr para fuentes de energía a partir de relleno sanitario sea de 5 MW, como ocurrió en la ronda 3. De perder la licitación, se podría estar arriesgando a tener que entrar a los otros mercados, los cuales como ya se ha dicho ofrecen precios considerablemente menores a los de las rondas RenovAr.

Por lo tanto, consideramos que ofrecer un precio más competitivo que los históricos sería una propuesta más conservadora y menos favorable pero mucho menos riesgosa. Para poder analizar la factibilidad de proponer un precio menor a los anteriores, se deben estudiar los costos que tendría el proyecto.

Independientemente del precio adjudicado, el precio que realmente se le pagará a los generadores se ve afectado por dos coeficientes: un factor de incentivo y otro de ajuste.

Para clarificar el precio pagado a las generadoras, se extraen definiciones de los siguientes conceptos del pliego de bases y condiciones de la ronda 2:

- “Precio Ofertado”: Es el precio de la energía eléctrica generada por la Central de Generación (expresado en Dólares por MWh) que el Oferente está dispuesto a cobrar durante todo el plazo del Contrato de Abastecimiento según sea incluido

en la Oferta en el Anexo 5. El Precio Ofertado es único para cada Oferta y eventualmente será ajustado por el Factor de Ajuste Anual y Factor de Incentivo según se dispone en este PBC.

- “Factor de Ajuste Anual”: significa, para cada Año de Producción, el valor indicado en la columna “Factor de Ajuste Anual” del Anexo 8. Este factor busca acompañar inflación del dólar, para que el precio del contrato no quede “atrasado”.
- “Factor de Incentivo”: significa, para cada año calendario indicado en la columna “Año Calendario” del Anexo 9. El propósito del Factor de Incentivo es favorecer e incentivar la pronta instalación y puesta en operación comercial de las Centrales de Generación mediante un incremento nominal del Precio Adjudicado que mejora los ingresos y la situación financiera de los Proyectos.

Luego, tomándose como referencia los datos de la ronda 2 y ronda 1, en los cuales los factores se mantuvieron, el precio real pagado será el siguiente, teniéndose en cuenta que el factor de incentivo se da por año calendario y no por año de operación (es decir, si el proyecto comienza a generar electricidad en el año calendario posterior al año de la licitación le corresponde un incentivo de 1,2, si no lo hace este incentivo ya no puede aprovecharse):

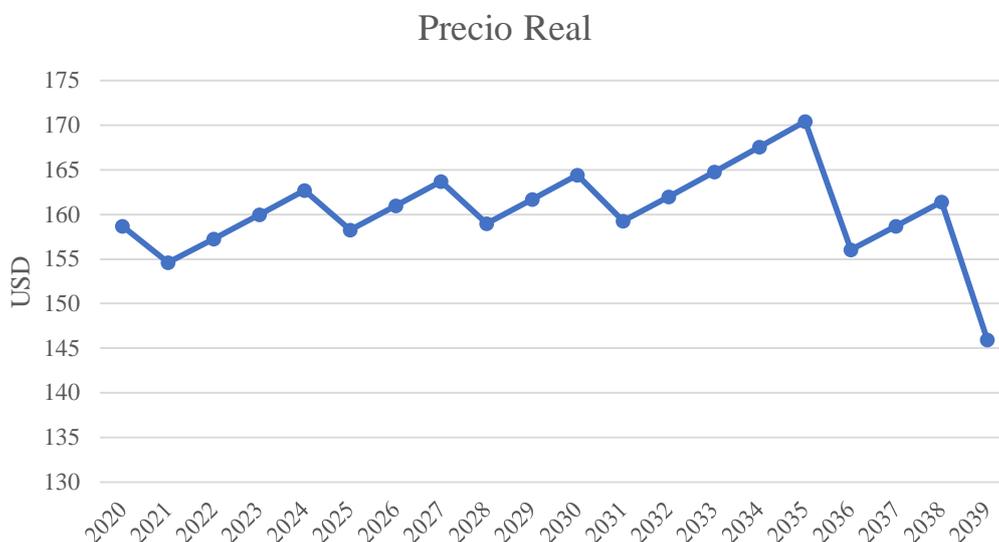


Figura 1.5.6.1.1. Precio RenovAr afectado por los factores de ajuste e incentivo. Elaboración propia.

1.5.6.2 Precio MATER

En el caso de ingresar al mercado a término de energías renovables, se podrán ofrecer contratos de diversos plazos. Sin embargo, una vez realizada la ampliación no se podrá

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario ingresar a una nueva ronda RenovAr ya que este programa es para nuevas instalaciones y no para las ya existentes.

Los precios que se ofrecen en el MATER son similares a los precios pagados a los generadores en las compras conjuntas, dado que a estos precios los generadores están dispuestos a generar electricidad. Los precios de las compras conjuntas fueron analizados anteriormente siendo el valor de los mismos de 67 U\$/MWh en el 2019. Además, se deben tener en cuenta las proyecciones de precio final pagado por los GUH, los cuales debido a los cargos de comercialización y administración hacen que los precios aumenten considerablemente. Este aumento es la razón principal por la cual se espera que los GUH migren al MATER.

Otro factor para tener en cuenta es el plazo del contrato, dado que a menores plazos el precio es más elevado. Esto se debe a que los inversores buscan asegurar la rentabilidad de la inversión. A mayores plazos pueden reducir el precio puesto que se aseguran ese flujo de fondos. Algunos de los plazos mínimos que figuran en la actualidad son de 5 años, siendo el precio de alrededor de los 62 U\$/MWh. Para plazos mayores, los precios llegan a ser menores a 60 U\$/MWh.

Este plazo además puede justificarse a partir de la siguiente limitación: como los GUH no pueden reingresar al régimen de compras conjuntas una vez que salieron por un mínimo de 5 años, se puede suponer que el contrato será como mínimo de este mismo período.

En conclusión, el precio que se ofrecería en el MATER puede basarse en función de los datos de las compras de AySA y también teniendo en cuenta la proyección de precios de las compras conjuntas. El precio del contrato puede quedar fijo a lo largo de todo el plazo que estipula el contrato.

1.6 CONCLUSIONES ANÁLISIS DE MERCADO

La necesidad de energías renovables en Argentina es importante. No solo por los porcentajes impuestos por la ley, sino porque se prevé un aumento en la demanda de energías a causa del crecimiento poblacional e industrial. Una vez proyectada la demanda total, se logró una proyección de la potencia instalada necesaria para abastecerla.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Teniendo en cuenta los valores proyectados de la potencia instalada proveniente de fuentes renovables, se puede observar que para el año 2025 se cumple con el objetivo propuesto por el gobierno de alcanzar el 20%.

Para llegar a dicho objetivo se licita a través de RenovAr la instalación de fuentes de energías renovables. Debido a que en la licitación de la ronda 3 la máxima potencia a instalar para la categoría de biogás a partir de relleno sanitario es de 5 MW, consideramos que este valor es una buena primera estimación en la cual basar el proyecto. Sin embargo, este valor será estudiado en profundidad más adelante. La importancia de las licitaciones RenovAr para el proyecto se ve reflejado en el precio, dado que el mismo es considerablemente mayor que el estimado en el MATER. Esto permitirá al proyecto tener tanto ingresos mayores como un plazo de contratación fijo de 10 años.

Además, de no ganar la licitación existe la posibilidad de ingresar al MATER. El precio en este mercado es relativamente menor y además una vez que el mercado es abastecido con la demanda de energías renovables correspondiente o cuando el mismo esté cerca del mismo, la ley se estará cumpliendo y se estima que el precio en el MATER será incluso menor.

2 CAPÍTULO INGENIERÍA

A través del análisis de ingeniería se pretende mostrar el desarrollo técnico para poner en marcha la instalación de la usina eléctrica propuesta. En primer lugar se detalla las características de la materia prima, factor determinante a la hora de realizar este proyecto. La localización del mismo se ve restringida a la disponibilidad de materia prima por lo que su macro localización tiene factores limitantes. Para la microlocalización, se pretende mostrar la ubicación espacial dentro del predio del CEAMSE y los factores que llevaron a dicha elección.

Seguido a la localización, se mostrará el proceso productivo con todas sus etapas, las maquinarias necesarias para el funcionamiento y la evaluación de las tecnologías disponibles según un estudio objetivo de los determinantes deseables de cada una de ellas.

Con las maquinarias elegidas, se mostrará el balance de línea para la obtención estimada de MWh anuales, la cantidad de equipamiento necesaria y demás cálculos relevantes para el entendimiento del proceso.

Se mostrarán las consideraciones legales y ambientales relevantes al proyecto en su conjunto.

2.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Dado que el proyecto consiste en la ampliación de una usina de energía eléctrica, el producto final es la energía eléctrica entregada a la red. Sin embargo, es necesario analizar la fuente de esta energía que es el biogás de relleno sanitario. Cabe destacar que el objetivo principal de la ampliación es tener una usina que sea capaz de cumplir con los 5 MW de potencia que se puede obtener en el programa RenovAr, junto con un contrato MATER a 9 años a partir del segundo año de generación.

El Biogás es un gas combustible que se genera por la descomposición de material orgánico en condiciones anaeróbicas, es decir en ausencia de oxígeno. Los residuos de relleno sanitario utilizados para la producción de biogás suelen degradarse en cinco etapas (Mayanga & Bonilla, 2007):

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Fase I. Esta primera fase comienza inmediatamente después de depositar los residuos. Consiste en la degradación de las sustancias más fáciles de descomponer en condiciones aeróbicas. Los productos de esta etapa son dióxido de carbono, agua y materia parcialmente descompuesta además de un ascenso de la temperatura.

Fase II. Durante esta fase ocurre un proceso de fermentación que genera ácidos y provoca una caída del pH. Lo más importante de esta etapa es que se consume todo el oxígeno presente y, por lo tanto, se generan las condiciones adecuadas para las siguientes etapas anaeróbicas.

Fase III. La actividad microbiana iniciada en la fermentación durante la fase anterior se acelera produciendo cantidades significativas de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de hidrógeno. Durante esta etapa se dan tres procesos:

- Hidrólisis, se transforman partículas y moléculas complejas (como proteínas, lípidos, carbohidratos, etc.) en compuestos más sencillos solubles (principalmente azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes.) que serán utilizados por los microorganismos como fuente de energía.
- Acidogénesis, intervienen bacterias fermentativas que transforman los compuestos de la etapa anterior en compuestos con bajo peso molecular, que incluyen diversos ácidos orgánicos.
- Acetogénesis, los compuestos del proceso anterior se transforman en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, siendo estos compuestos sumamente importantes para la producción de biogás.

Fase IV. El ácido acético y el hidrógeno se transforman, por la acción de microorganismos denominados metanogénicos, en metano y dióxido de carbono. Es durante esta etapa que el metano alcanza los niveles necesarios para que el biogás sirva como combustible.

Los procesos que ocurren en las fases III y IV se conocen en conjunto como digestión anaeróbica.

Fase V. La última etapa es la de maduración. En ésta, la generación de gas metano y dióxido se reducen debido a que los componentes presentes son de degradación lenta.

La velocidad de las primeras dos fases se puede acelerar con mayores temperaturas, mayor compactación y celdas más reducidas. Las fases 3 y 4 dependen de las condiciones

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

de operación y del contenido de humedad. A mayor humedad, menor la duración de las etapas, pero a su vez mayor es la generación de biogás. Por lo tanto, se requiere regular la humedad de la celda. Esto se puede lograr con el control de los líquidos lixiviados (subproducto del proceso), técnica que ya utiliza actualmente la empresa Tecsan. La última fase depende también de las condiciones de operación que hubo durante su uso, y requiere que la basura se estabilice. A continuación, se presenta un gráfico (Figura 2.1.1) con las fases del proceso y los porcentajes que se producen de los gases involucrados más relevantes. Además, en la (Figura 2.1.2) se puede observar una representación esquemática de las fases anaeróbicas del proceso (Fase III y IV).

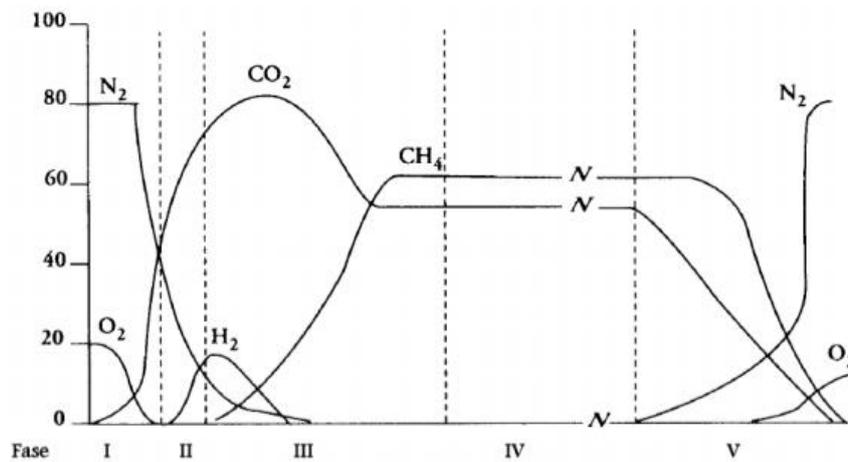


Figura 2.1.1. Porcentajes de los gases involucrados en cada fase de descomposición de los residuos.
Fuente: REDISA.

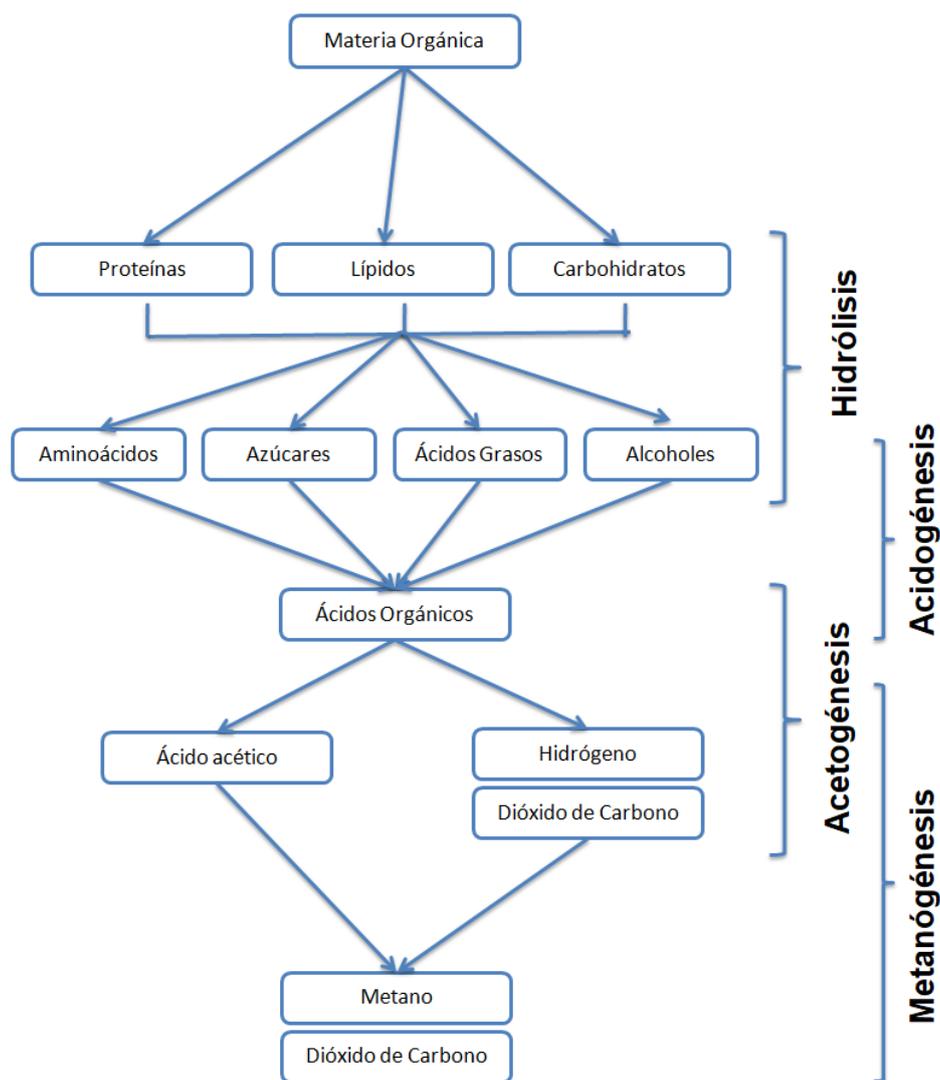


Figura 2.1.2. Proceso de digestión anaeróbica. Elaboración propia en base a diversas fuentes.

La digestión anaeróbica es de gran importancia, ya que es en ésta donde se puede extraer el biogás necesario para la producción de energía eléctrica a través del proceso que se detalla más adelante. La generación y composición resultante del biogás depende de varios factores como cantidad y composición de residuos, condiciones climáticas, tipo de cobertura, humedad, entre otras.

A pesar de que la composición depende de los factores mencionados anteriormente, el biogás se caracteriza por una gran cantidad de gas metano y de dióxido de carbono. A continuación, se presenta una tabla con los rangos típicos generados en rellenos sanitarios.

Componente	Unidad	Rango de variación
Metano	% CH ₄	40-60

Dióxido de carbono	% CO ₂	30-45
Nitrógeno	% N ₂	0-5
Oxígeno	% O ₂	0-2
Agua	% H ₂ O	0-7

Tabla 2.1.1. Rango de composición de biogás de relleno sanitario. Fuente Tecsan.

Además, en el biogás de relleno sanitario, se pueden encontrar siloxanos y partículas que deben ser eliminadas ya que producen daños en las máquinas empleadas y reducen su vida útil. Las máquinas requieren una composición superior al 45% para no disminuir su rendimiento.

A la salida del pozo el biogás se encuentra a una temperatura aproximada de 37°C y con 100% de humedad relativa. Esta humedad puede condensar en etapas posteriores afectando las propiedades del gas. Es por esto que, en las subestaciones colectoras, punto en el que se recoge el gas de entre 20 y 30 pozos antes de enviarlo a la planta, hay trampas de agua para separar el condensado del gas.

El biogás tiene un alto valor calorífico, característica que lo hace ideal para la calefacción y electricidad. Esta característica se la otorga principalmente su alto contenido de metano; debe contener mínimo un 45% para que sea inflamable. El poder calorífico del biogás se mide en función del porcentaje volumétrico de metano y el poder calorífico inferior (PCI) del metano.

La producción de energía eléctrica a partir de biogás resulta atractiva, no sólo debido a su poder calorífico, sino también a que es una fuente de energía renovable que permite reducir la emisión de gases y aprovechar un recurso que de otra manera sería desperdiciado. La potencia disponible depende del rendimiento térmico, del caudal de biogás y de su poder calorífico inferior según:

$$\text{Potencia disponible [kW]} = \eta \times \text{PCI} \times Q \quad (2.1.1)$$

Siendo:

η : rendimiento medido en porcentaje [%];

PCI: poder calorífico inferior $\left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}\right]$

$$Q: \text{caudal de biogás capturado } \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

La energía por generar es:

$$\text{Energía eléctrica } \left[\frac{kWh}{año} \right] = \text{Potencia disp. } [kW] \times \text{Factor de utiliz. } [\%] \times 8760 \left[\frac{hs}{año} \right] \quad (2.1.2)$$

2.1.1 Modelo de generación de biogás

Como se mencionó anteriormente, la generación de biogás depende de las características del recurso. Estimar la cantidad de biogás generada en el relleno no es determinante, sino que la generación puede variar respecto a lo esperado. Sin embargo, existen distintas formas de estimar el caudal de biogás del relleno a partir de sus características.

Entre los modelos se encuentran algunos que utilizan ecuaciones de distintos órdenes, resultando ser una buena aproximación los de primer orden. Este último es validado empíricamente en distintos rellenos y en pruebas de laboratorio, por lo que es ampliamente aceptado y utilizado (Abedini, 2014)

El modelo utilizado para estimar la generación de biogás es el modelo propuesto por The Intergovernmental Panel on Climate Change Model (IPCC Model), un modelo ampliamente utilizado en el mundo, que utiliza reacciones de decaimiento de primer orden. En el mismo se puede distinguir entre distintos climas (seco, húmedo, normal).

La ecuación de primer orden de IPCC es:

$$Q_t = \sum_i \left[\frac{1}{100} CH_4 \times k \times L_o \times M_i \times e^{-k \times t \times i} \right] \quad (2.1.1.1)$$

Donde:

$$Q_t = \text{flujo de biogás residual generado } \left[\frac{m^3}{año} \right]$$

$$CH_4 = \text{contenido de metano promedio del relleno } [\%]$$

$$k = \text{constante de generación de metano } \left[\frac{1}{año} \right]$$

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

$$L_o = \text{capacidad potencial de generación de metano de la basura} \left[\frac{m^3}{tn} \right]$$

$$M_i = \text{cantidad de basura aceptada en la sección } i \text{ [tn]}$$

$$t_i = \text{edad de la sección } i \text{ [años]}$$

El valor de L_o tomado es el recomendado estándar por el EPA, siendo este de $3204 \frac{ft^3}{tn}$ lo que equivale a $90,72 \frac{m^3}{tn}$. Mientras, la constante k toma el valor 0,04 dadas las características del clima y la frecuencia de las precipitaciones. Este valor es el recomendado por EPA para los climas con lluvias anuales iguales o mayores a 635 milímetros de agua, mientras que para los climas áridos se recomienda un valor de 0,02. Además k puede tomar el valor de 0,1 en los casos de utilizarse bioreactores, es decir, no se aplica en rellenos sanitarios.

Como la capacidad estimada del relleno es de 25.000.000 toneladas de basura, se dispondrá en el mismo la basura disponible cada año hasta completar la capacidad.

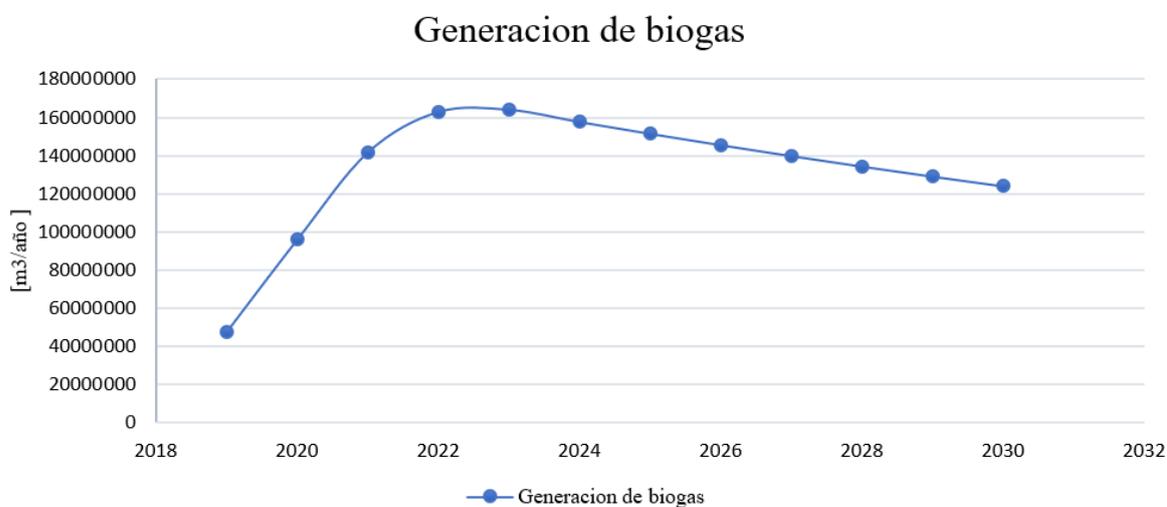


Figura 2.1.1.1. Generación de biogás a partir de modelo IPCC (elaboración propia).

2.2 LOCALIZACIÓN

2.2.1 Macrolocalización

La macrolocalización de la ampliación evaluada en este proyecto está restringida por la actual ubicación de la empresa, la cual, además, en su instalación se vio restringida por el recurso necesario para el proceso: los residuos ubicados en rellenos sanitarios.

La ubicación actual de Tecsan es en el Complejo Ambiental Norte III de CEAMSE que se encuentra en el municipio de San Miguel, provincia de Buenos Aires. La elección de este sitio, además de deberse a la disponibilidad de recursos, puede atribuirse a que Tecsan prestaba los servicios de construcción de módulos de disposición final, mantenimiento y operación a CEAMSE desde 1994. Esto les brindaba importante conocimiento sobre las actividades del complejo. Además, la Central Buen Ayre (central térmica a biogás) comenzó su construcción a inicios del año 2012, año en el cual sólo CEAMSE estaba habilitado para enterrar los residuos de la Ciudad de Buenos Aires.



Figura 2.2.1.1. Ubicación del Complejo Ambiental Norte III.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

2.2.2 Microlocalización

Conociendo la restricción macro dentro del predio del CEAMSE, los factores que influyen en la decisión del terreno a utilizar son los siguientes:

- Disponibilidad de 15.000 m² para la construcción de la planta productora (necesario).
- Estabilidad de suelos (necesario). Dentro del predio se encuentran módulos que quedaron fuera de servicio y con restos de basura enterrados. Este tipo de suelos es inestable y no es apto para la construcción.
- Cercanía al insumo: se requiere que la instalación se encuentre cerca del origen del biogás en el módulo D y de las tuberías, para así facilitar el manejo de la presión y además reducir costos de inversión en tubería.
- Cercanía al punto de interconexión. Una vez que se genera la energía y se la pone a una tensión acorde, es necesario transportarla hasta el punto de interconexión actual que vincula a planta con la subestación. A mayor distancia, las pérdidas de potencia en los cables aumenta.

Partiendo de estos factores, surgen las siguientes tres opciones que cumplen con los requisitos necesarios antes mencionados:

Opción A y B:



Figura 2.2.2.1. Opciones A y B para localización definitiva de planta.

Opción C:



Figura 2.2.2.2. Opción C para localización definitiva de planta.

La siguiente matriz muestra la ponderación entre los factores antes mencionados para las opciones propuestas para el emplazamiento de la planta productiva.

Necesidades		Alternativas					
		A		B		C	
Obligatorias	Disponibilidad de terreno	Si		Si		Si	
	Estabilidad de suelo	Si		Si		Si	
Deseables	Cercaña al insumo 50	1 km	8	1.2 km	8	1.5 km	8
	Cercania al punto de interconexión 50	1 km	10	1.2 km	8	1.5 km	5
Totalizador		900		800		650	

Tabla 2.2.2.1. Matriz de selección de localización para la planta.

Mediante el análisis cuantificable se llega a que la mejor opción es la propuesta A. Dentro del predio del CEAMSE, la nueva central estará ubicada a 1 km de distancia de la central actual. Estará vinculada por un cable subterráneo hasta la red de interconexión eléctrica existente de dominio público que pertenece al área de concesión de EDENOR y vincula la planta actual con la subestación Rotonda.



Figura 2.2.2.3. Ubicación de la nueva central dentro del CEAMSE

2.3 PROCESO PRODUCTIVO

2.3.1 Disposición del relleno sanitario

Como se anticipó en la introducción del proyecto, la disposición de la basura se realiza a través de un relleno sanitario del tipo trinchera. Debido a que ya se comenzó la disposición siguiendo dicho formato, para el proyecto lo tomamos como punto de partida.

La fase de disposición de la basura es de vital importancia, dado que el trabajo del día a día puede significar mayores rendimientos al momento de captar el gas. Al momento de depositar la basura, esparcirla y compactarla (permite no solo reducir el volumen sino también “quitar” aire) se la busca cubrir con tierra lo antes posible para propiciar las condiciones anaeróbicas que permiten la generación de biogás (cubrirlo además presenta otros beneficios como por ejemplo reducir los riesgos de incendio, evitar olores y roedores). La tierra con la que se cubre es la tierra que se obtuvo al realizar el pozo. Este recubrimiento no se hace sólo al final, sino que se trabaja por capas de 2 a 5 metros. Cuanto más profundo es el relleno, mejor serán las condiciones anaeróbicas. Además, al cubrirla, se logra impedir de forma parcial las filtraciones de agua de lluvia.

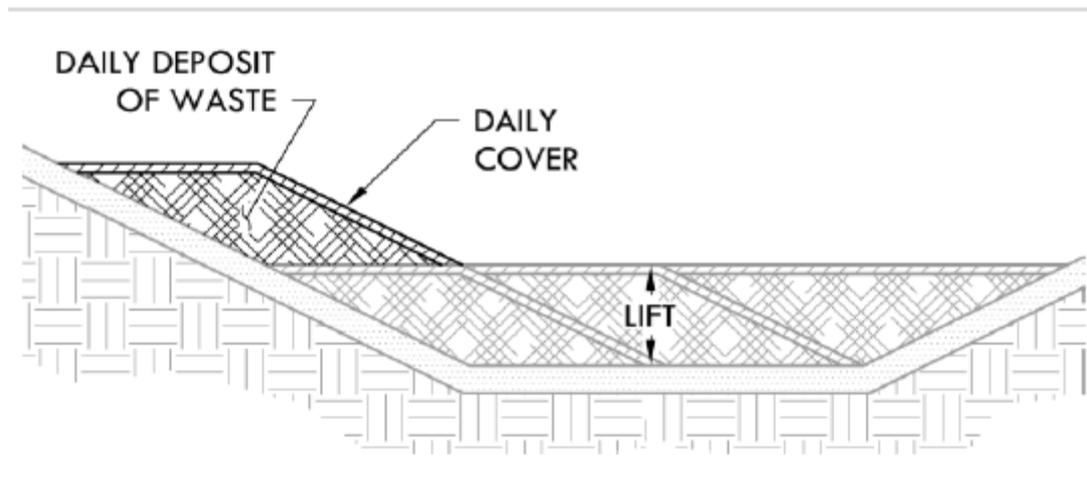


Figura 2.3.1.1: disposición de basura por capas. Fuente: EPA.

Uno de los problemas más graves con los que debe lidiarse son los líquidos lixiviados. Estos líquidos son producidos por la humedad de los residuos al depositarlos en el pozo y el agua que se filtra de las precipitaciones.

Este líquido dificulta la obtención de gas, ya que reduce su calidad e impide la extracción de este (caso en el que el líquido llega a los orificios de los tubos que tienen por objetivo captar el gas). Este es uno de los factores para tener en cuenta al elegir el método con el que se extraerá el gas. Además, al ser contaminante, se debe evitar su contacto con las napas de agua, y debe ser extraído y tratado.

Otro aspecto para tener en cuenta son los riesgos por incendio, que provocan no sólo daños al sistema de captación de gas y líquidos lixiviados, sino que también al ambiente y salud de las personas. Sin embargo, al disponerse los residuos según el método de rellenos sanitarios, estos son poco probables (Environmental Protection Agency, 2012).

Como la finalidad de la captación del gas es la generación de energía, se busca aumentar el flujo de biogás, por lo que la instalación de un soplador o compresor que ayude a aumentar el flujo es ideal. A este sistema se lo llama captación “activa”, siendo la “pasiva” la que utiliza la misma presión del relleno para extraer el biogás.

2.3.2 Introducción al proceso de tratamiento de biogás en relleno sanitario

El proceso de generación de energía consta de varias etapas. En primer lugar, se encuentra la captación del biogás. Este proceso consiste en la utilización de pozos de captación

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

verticales que luego se conectan a la salida con tuberías de PEAD (polietileno de alta densidad). Luego, dentro de estos tubos se debe transportar el biogás hasta subestaciones de regulación donde se controla y regula constantemente tanto el caudal como la calidad del gas para luego ser transportado hacia la red perimetral (también compuesta por tubos de dicho material). Esto se logra a través de medidores y con la utilización de válvulas que se operan manualmente para abrir o cerrar de acuerdo con la composición de cada pozo. Una vez que las subestaciones colectan el caudal de biogás salen rumbo a la red perimetral de biogás, la cual se encarga de recolectar el gas que sale de las distintas subestaciones y trasladarlo hacia la planta de pretratamiento.

El proceso de pretratamiento comienza con una condensación, en la cual se separa todo lo que es biogás de los líquidos lixiviados y partículas sólidas dañinas para la maquinaria. Luego se encuentran unos sopladores que se encargan de mantener y adecuar la presión de entrada de la planta. Una vez que las condiciones lo permiten, el gas ingresa a unos intercambiadores de calor en donde se enfría y aquello que condensa es separado nuevamente. Dicho líquido separado en el proceso debe ser trasladado hacia una planta de tratamiento de lixiviados debido a que no es bueno para el medioambiente dejarlo en esas condiciones. Luego se unifica el caudal de los distintos intercambiadores y atraviesa una serie de filtrados donde se separan los siloxanos y las partículas sólidas previo a la entrada de los generadores.

Una vez en los motores, ocurre el proceso principal: la quema del biogás para obtener energía eléctrica. Sin embargo, todavía falta transformar esta energía a media tensión para luego ser distribuida por CAMMESA a donde sea necesario.

Se muestra a continuación el diagrama de proceso de obtención de energía eléctrica a partir de residuos.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

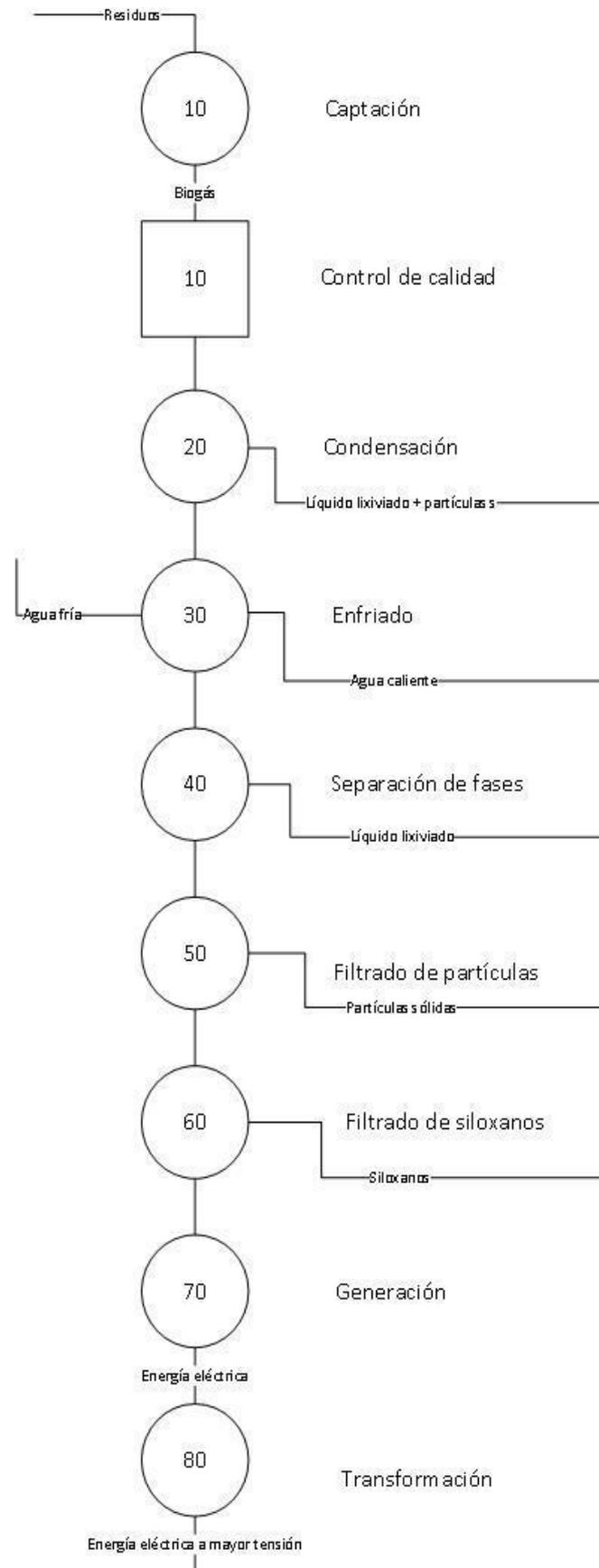


Figura 2.3.2.1. Diagrama de procesos de obtención de generación eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario.

El proyecto abarca las etapas de captación, traslado y generación de energía. Se tienen en cuenta además los procesos como el transporte del lixiviado y el quemado del excedente de biogás. A continuación, se realiza un análisis de las distintas tecnologías disponibles para cada proceso. En caso de que sea necesario, se realizarán matrices para seleccionar la variante tecnológica, pero en algunos casos, simplemente se realizará una comparación de ventajas y desventajas para elegir la opción óptima.

2.3.2.1 Captación del gas – extracción

La recolección de biogás comienza con las tuberías de extracción. Una vez colocadas, éstas son rodeadas, generalmente, con distintos tipos de arenas para sellar el agujero y de esta forma evitar la captación de oxígeno y así mantener las condiciones anaeróbicas necesarias. También, poseen una sección superior lisa cercana a la superficie para evitar la captación de oxígeno en caso de fractura de la cobertura mencionada. Luego, a cierta profundidad prudencial poseen una sección perforada que permite el paso del gas a captar y en la cual se produce la extracción propiamente dicha.

El monitoreo de los pozos es esencial para una óptima colección de gas. Por esta razón, los tubos de extracción tienen un cabezal, el cual permite regular el flujo de gas (creando el vacío que se necesite), medir la presión, la temperatura y tomar muestras de este para analizar la calidad del gas obtenido. Es decir, permite analizar el estado del pozo y problemas potenciales. Por lo general, los tubos están hechos de polietileno.

Los pozos pueden ser verticales u horizontales (González, 2014). Las principales diferencias entre estos tipos de configuración se detallan en el siguiente cuadro resumen.

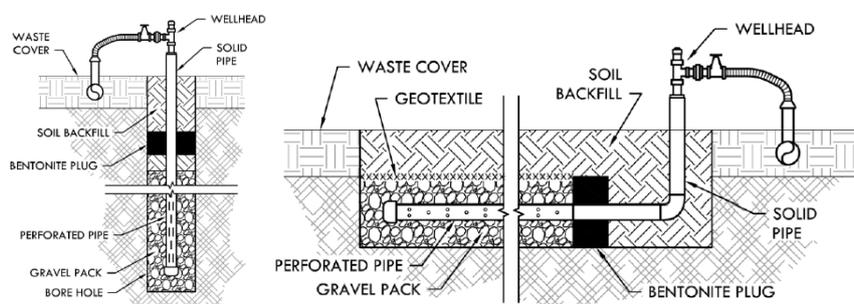


Figura 2.3.2.1.1. Representación de pozos de captación vertical y horizontal. Fuente: Joaquín González (2014).

	Ventajas	Desventajas	Otras características
Pozos horizontales	<ul style="list-style-type: none"> - Menor captación de líquidos lixiviados. - Pueden colocarse antes del cierre del pozo. - Menores equipos especializados para instalación 	<ul style="list-style-type: none"> - Menores profundidades - Mayor riesgo de captación de aire - Mayor probabilidad de fallar por inundaciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad de instalación de 3 a 6 metros
Pozos verticales	<ul style="list-style-type: none"> - Interrupción mínima de operación - Facilidad de inspección 	<ul style="list-style-type: none"> - Deben colocarse una vez que el pozo se cierra o cuando queda menos de un año para el cierre del pozo (lo que requiere un mayor mantenimiento). - En caso de interrupción tiene un largo período de inactividad 	<ul style="list-style-type: none"> - Profundidad del pozo de 15 a 20 metros - Radio de influencia de 25m² a 35m², a menores radios mayor eficiencia

Tabla 2.3.2.1.1. Elaboración propia a partir de International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects, 2012 y Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines, 2010

Observando las ventajas y desventajas de cada pozo, se prefieren los verticales. Esto se debe a que llegan a mayores profundidades, tienen bajas interrupciones en la operación (por lo que permite aumentar la previsibilidad en la captación) y tienen menor riesgo de captación de aire.

Las tasas de recuperación de biogás a partir de un pozo de extracción pueden variar. Estos valores dependen en gran medida de las características del relleno, pero también del tipo de pozo. En general, la recuperación por pozo de extracción vertical está en el rango de 25 a 75 m³ / h.

En general, los objetivos del sistema de gestión de biogás de relleno sanitario (BRS) desempeñan un papel importante en la determinación del espaciado óptimo de los pozos. Cuando se requiere una mayor eficiencia de recolección del biogás puede justificarse un espaciado más estrecho del pozo para maximizar la recuperación.

Teniendo en cuenta las características mencionadas, se puede estimar la utilización de 270 pozos verticales (cada pozo tendrá un radio de influencia aproximado de 35 metros, debido al exceso esperado de producción de biogás). Este sistema de captación se instala

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

en 3 fases distintas, a medida que se completa el relleno. Sin embargo, estas cantidades son estimativas: el área de influencia de cada pozo es muy variable y depende de varios factores, por ejemplo, las limitaciones prácticas para la aplicación de vacío en los casos de sistemas activos (utilización de sopladores) de extracción de gases, el movimiento horizontal que pueden realizar los residuos, la profundidad al que pueden depositarse los lixiviados y la presencia de capas de lixiviados entre los residuos (Conestoga - Rovers & Associates , 2010).

Debido a la variabilidad mencionada, esta cantidad de pozos será evaluada posteriormente a la instalación, dado que es posible necesitar de una mayor cantidad de pozos en caso de que la eficiencia no sea la esperada. En el apartado de riesgos se evalúa la instalación de una geomembrana que aumente la eficiencia de captación, en contraposición a agregar mayor cantidad de pozos. El siguiente gráfico conceptual indica la relación de compromiso entre costo y eficiencia de captación, entendiéndose que a mayores costos menor es el radio de influencia exigido a los pozos verticales:

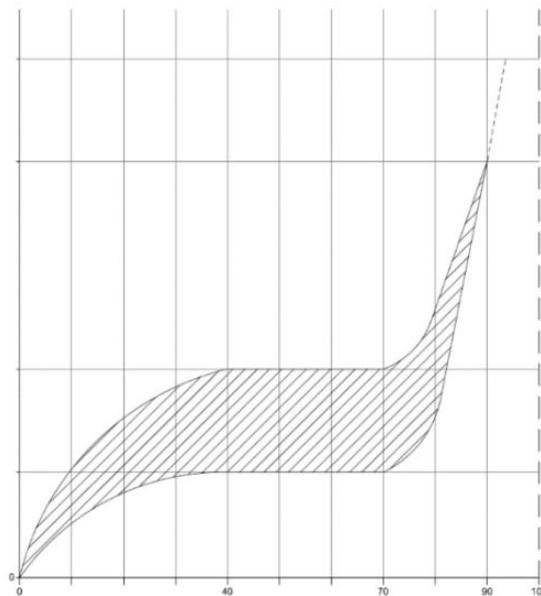


Figura 2.3.2.1.2. Variación del costo en función de la captación de biogás (Conestoga - Rovers & Associates , 2010).

En la siguiente figura se ilustra la superposición de los pozos verticales para abarcar todo el relleno:

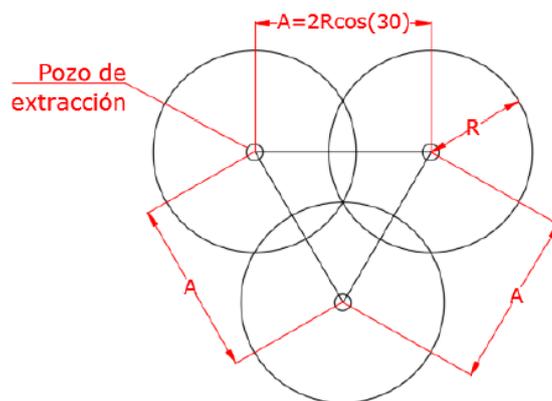


Figura 2.3.2.1.3. Radio de influencia de pozos verticales.

Los diámetros de los pozos verticales pueden variar, en un rango que va desde los 50 mm a los 200 mm (Conestoga - Rovers & Associates , 2010). Mientras, los tubos colectores y la red troncal deberán tener diámetros mayores. Estos diámetros deberán permitir la velocidad no supere los 12 m/s, valor recomendado como máximo por USACE (US Army Corps of Engineers, 2013). Para el caso de los tubos secundarios se tomará un diámetro de 315 mm y para el de la red troncal un diámetro que varía desde los 315 mm a 500 mm, ampliándose a medida que se acerca a la planta. La razón de establecer esta cota máxima es asegurar la condensación del vapor en las paredes del tubo de las tuberías. Buscando respetar esta cota se recurre al programa EPANET, el cual permite, a través de una adaptación para el flujo correspondiente (peso específico relativo de 0.00135 y viscosidad relativa del gas de 1.21×10^{-5} , parámetros recomendados por USACE 2013). Esta corroboración se muestra en el anexo.

En cuanto al material de las tuberías, este debe ser resistente a los compuestos con los que estará en contacto, entre ellos, el biogás, el líquido condensado, el líquido lixiviado y los residuos. Dentro de los materiales habituales más baratos para esta actividad se encuentran los tubos de PVC o de PEAD (polietileno de alta densidad), aunque es preferible la segunda opción, debido a que el PVC puede volverse quebradizo con el tiempo, debiéndose cerrar la operación de ese pozo.

La rugosidad del PEAD es de 0,0015, al igual que la del PVC, por lo que respecto a las caídas de presión el comportamiento de ambos no presenta diferencias (Polietileno Tigre, 2011).

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se estima que en el módulo Norte IIID, para lograr una captación total se necesitarán pozos verticales de 15 metros. En todo el módulo serán necesarios 270 pozos verticales, corroborando esta cantidad en el anexo. Estos se instalan a medida que avanza el desarrollo del relleno, operando en un radio de 35 metros por pozo vertical. Tanto los pozos como la red de captación serán hechos de PEAD.

La eficiencia en la captación del gas, como se mencionó, no depende solo del tipo de pozo y radios de influencia de estos, sino además de otros factores. La misma además se verá afectada por el control que se haga sobre los pozos, regulando el caudal según la presión y el contenido de metano. Siguiendo el porcentaje recomendado para el modelo IPCC (Abedini, Integrated approach for accurate quantification of methane generation at municipal solid waste landfills, 2014), se tomará una eficiencia de captación del 62%.

Teniendo en cuenta esta eficiencia, la cantidad de biogás recuperado del relleno es la siguiente:

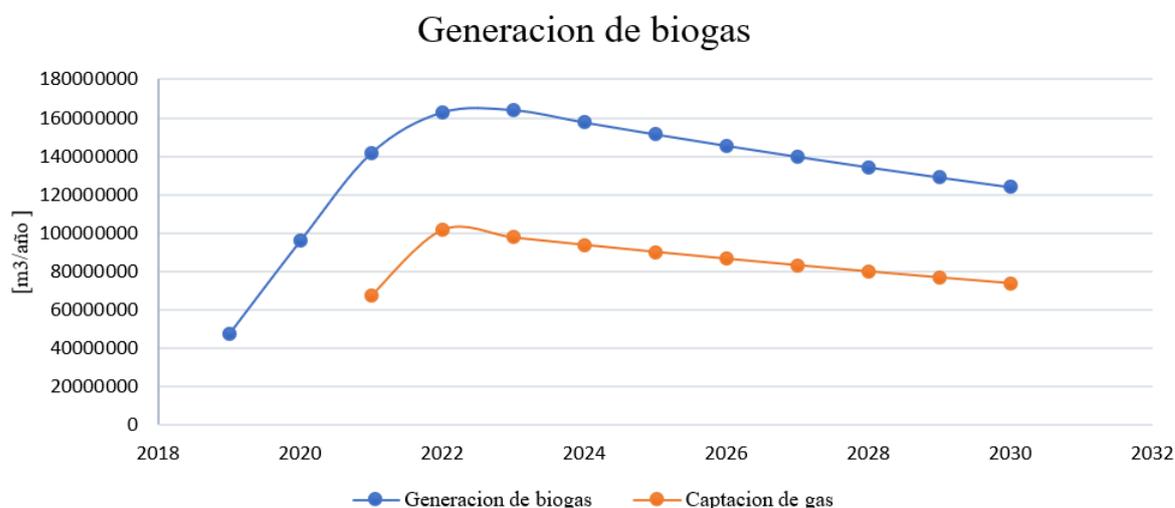


Figura 2.3.2.1.4. Captación de biogás según modelo IPCC, elaboración propia.

Para la instalación de estos pozos la empresa no cuenta con las maquinarias necesarias, por lo que deberá tercerizarse la actividad. Esta actividad se terceriza actualmente dado que no es rentable comprar estos equipos dada su baja utilización. El montaje de estas tuberías se hace en distintas fases, para aprovechar aquellas secciones que comienzan a emitir el recurso deseado y no desaprovecharlo.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Teniendo en cuenta la cantidad de pozos verticales (270), su radio de influencia (35 m), los tubos colectores (conectan en promedio 4 nodos, cada uno con 6 pozos - con la red perimetral) y la red perimetral, se pueden estimar los siguientes km de tuberías:

	Diámetro [mm]	Cantidad [m]	Material
Red perimetral	500	3487	PEAD
Red perimetral	600	696	PEAD
Colectores	315	3626	PEAD
Tubos secundarios	200	43506	PEAD
Pozos	200	4050	PEAD

Tabla 2.3.2.1.2. Requerimientos de tuberías por diámetro.

2.3.2.2 Subestaciones de regulación

Una vez realizado el pozo de captación del biogás, se deben construir las llamadas subestaciones de regulación, a través de las cuales los operarios pueden controlar tanto el caudal (verificando el vacío en cada uno de los pozos), como la calidad del gas captado, para que en caso de que no se cuente con la calidad suficiente no siga el recorrido. Mediante las mismas se busca mejorar el monitoreo de los pozos, mejorando de esta forma la eficiencia de recolección de gas.

Estas subestaciones tienden a recibir el gas de aproximadamente 25 pozos de captación con sus respectivas llaves de apertura y cierre. Se puede regular el grado de apertura de estas para tener la cantidad de componentes deseada de cada uno y así cumplir con los estándares de calidad necesarios.

Estas subestaciones deben ubicarse sobre el nivel de la superficie, a una altura tal que permita que los operarios puedan trabajar de manera cómoda y eficiente. A su vez, se recomienda que se ubiquen por debajo del nivel de boca de los pozos para permitir así un flujo más natural y evitar problemas en la llegada a la subestación. Al igual que las tuberías, la subestación se construye a partir de PEAD.

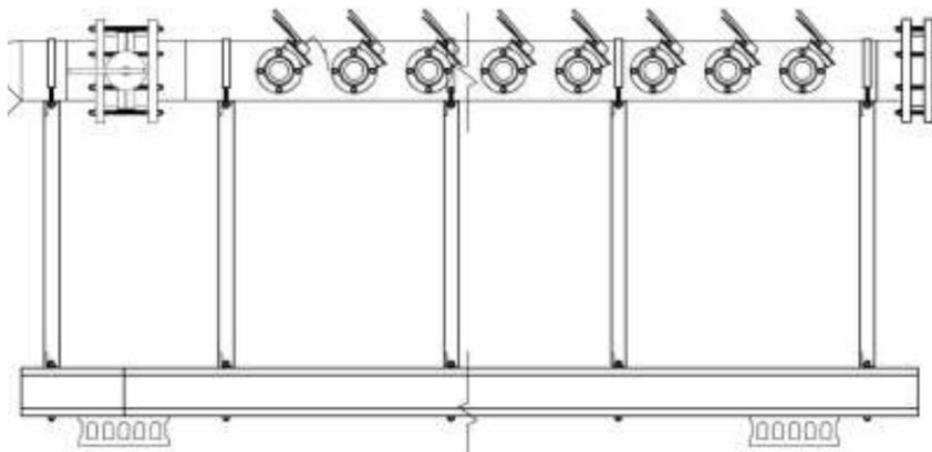


Figura 2.3.2.2.1. Representación de la subestación con las válvulas reguladoras de caudal. Fuente: Tecsan.

En cada una de las cabeceras de la figura debe poder monitorearse las concentraciones de gas, temperatura, caudal, presión estática y nivel de líquido lixiviado. De esta forma no hay necesidad de equipos de monitoreo dedicados en cada pozo individual. Cada pozo debe estar equipado además con una válvula de bola para permitir el ajuste y modificación individual de los niveles de vacío aplicados a los residuos. Los costos de esta última no son significativos, por los que no se analiza su selección.

Para monitorear los factores anteriormente mencionados, se podrían instalar todos los instrumentos por separado. Por ejemplo, para monitorear solo la composición de gas y su humedad, deberían instalarse los siguientes equipos en cada subestación:



Figura 2.3.2.2.2. Analizador de composición de biogás (izquierda) y analizador de humedad (derecha).

Sin embargo, esto implicaría altos costos (puesto que los instrumentos deberían instalarse en cada subestación), prefiriéndose soluciones en donde cada cabecera cuente con un

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario puerto de control que permita el monitoreo de este mediante un único equipo de campo, aumentando la utilización de este único instrumento de medición. Un ejemplo del equipo propuesto es el mostrado en la figura, el cual permite medir los factores anteriormente mencionados:



Figura 2.3.2.2.3. Equipo de monitoreo GEM 5000 (LandTec).

Estos productos no son una novedad, sino que existen varios proveedores en el mercado, y son un producto ya estandarizado y diseñado especialmente para proyectos de captación biogás de rellenos sanitarios. Entre las variables que miden se encuentran presión estática y diferencial, % CH₄, % O₂, % H₂O y caudal. Entre los posibles proveedores de estos equipos se pueden mencionar: Grupo AyT, Amperis, EnviroTecnics y Fonotest. Estos equipos son los medidores móviles que se conectan a cada subestación y de ser necesario a cada cabezal de pozo en las rondas realizadas por los operarios.

2.3.2.3 Red de tuberías colectoras

La red de tuberías colectoras es la encargada de llevar el gas desde las subestaciones a la próxima etapa, es decir, la de filtrado. Puede instalarse sobre el suelo o debajo del mismo. Las ventajas y desventajas de cada opción se presentan a continuación.

	Ventajas	Desventajas
Por encima de la superficie	- Reducción de los costos del sistema en áreas donde no se produce la congelación, se ha	- Mantenimiento más difícil de la superficie o cubierta de la masa de desecho (como el corte de césped)

	<p>instalado una cobertura provisional o final</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mayor capacidad para inspeccionar, reparar y actualizar el sistema de tuberías 	<ul style="list-style-type: none"> - Las tuberías deben protegerse contra los efectos del clima y el movimiento de la expansión o contracción térmica, lo que puede resultar en grietas y separaciones de soldadura más frecuentes
Por debajo de la superficie	<ul style="list-style-type: none"> - Puede resultar en menores costos operativos - Puede ser más atractivo visualmente que las tuberías sobre la superficie 	Más caro de instalar

Tabla 2.3.2.3.1. Fuente: *International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects*, (2012).

Dadas las características de ambas, son preferibles las que están por encima de la superficie por sus menores costos y dado que las desventajas que presentan no son económicas a diferencia de las que están por debajo. Además, una de sus ventajas es la reducción de costos de mantenimiento, lo cual permite reducir aún más su costo a comparación de la segunda alternativa.

La configuración de los tubos colectores puede ser ramificada o en forma de anillo. La diferencia entre ellos radica en la inversión inicial y los costos de operación.

La primera configuración tiene como ventaja principal que las inversiones iniciales son mínimas, dado que la cantidad de metros de tubo a utilizar se reduce significativamente. Sin embargo, esta configuración reduce su eficiencia en rellenos sanitarios grandes.

La configuración en forma de anillo es recomendada para rellenos sanitarios de tamaños considerablemente grandes. A pesar de que el largo de tubería sea mayor, la misma es más eficiente al momento de captar el gas, puesto que, en comparación con el ramificado, ofrece más de un camino para el flujo de gas. Por este motivo, se prefiere la disposición de la tubería colectora en forma de anillo.

La selección de qué tipo de configuración utilizar depende de:

- Disponibilidad de terreno.
- Geometría del sitio.
- La topografía local.
- Localización de la estación de bombeo y la planta de incineración o aprovechamiento energético.

- Tamaño del relleno

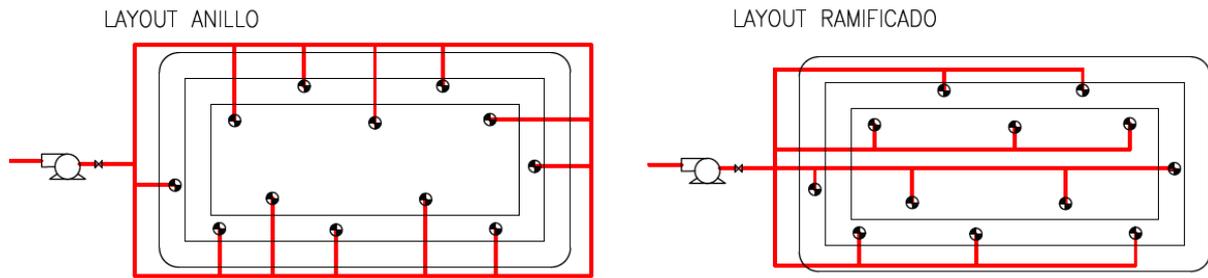


Figura 2.3.2.3.1. Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios. Fuente: Arriaza (2016).

2.3.2.4 Operación y mantenimiento

Respecto a la medición y regulación, debe existir un equipo de trabajo cuyo objetivo sea asegurar que el “vacío” ejercido al pozo por el sistema de impulsión sea el adecuado para garantizar el mayor caudal con la calidad adecuada. Esta tarea de regulación comprende tanto asegurar una presión en los colectores o subestaciones, como ajustar las presiones individuales de cada pozo. La regulación consta de una etapa inicial de medición e interpretación del estado del conjunto de pozos a partir de la salida de la subestación monitoreando parámetros de flujo, calidad y succión. A partir de los objetivos de calidad y caudal fijados por la operación, se verifica si este punto se encuentra dentro de los parámetros establecidos. En el caso de requerir ajustes, se debe medir individualmente cada línea de pozo ajustando manualmente la válvula de regulación de pozo, hasta conseguir la calidad y flujos dentro de los parámetros recomendados. Adicionalmente a los criterios establecidos, el personal debe contar con información histórica de cada pozo, información meteorológica, estado del sistema de bombeo de lixiviados y condiciones en tiempo real de la estación de impulsión, a partir de la integración con criterio técnico de esta información se logrará maximizar la cantidad de energía aprovechable producida. Al finalizar la regulación de la subestación debe medirse nuevamente el caudal y calidad de gas, verificando el éxito de la maniobra operativa. Todas las mediciones deben quedar registradas en las memorias internas de los analizadores portátiles.

Los puntos de monitoreo estarán ubicados en las subestaciones, pero una vez que se identifica un problema, debe identificarse el/los pozos que no estén recolectando el biogás bajo los parámetros deseados. Por esta razón, en cada cabezal de pozo, debe contarse con

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

un punto de monitoreo, el cual, como se estableció anteriormente deberá ser portable para la reducción de costos.



Figura 2.3.2.4.1. Cabezal de pozo vertical para monitoreo de caudal y presión (International Best Practices Guide for LFGE Projects, 2012).

Respecto al mantenimiento de máquinas, se puede mencionar que el costo más alto corresponde a los motogeneradores. La necesidad de este mantenimiento se da por los siguientes motivos:

- Cambio de lubricantes: tienen como funciones principales reducir la fricción y el desgaste, sellar, refrigerar y también ayuda en la limpieza del motor. Esto último se debe a que el aceite es capaz de transportar partículas hacia los filtros, evitando la formación de fangos y depósitos.
- Riesgo de gripado entre pistón y camisa: de suceder, podría comprometer la totalidad de motor. Puede darse por fallo en la lubricación, refrigeración, desequilibrio en la biela produciendo un desgaste entre las piezas o por la ruptura de capa de aceite por fallo en la compresión (permitiendo contacto directo entre camisa y pistón).
- Riesgo de gripado del cigüeñal: puede darse por el bloque de uno de los cojinetes, impidiendo o dificultando el movimiento del cigüeñal. Estos errores pueden darse por una falla en el diseño (menos habitual de todos), un defecto de montaje o mala lubricación.
- Sobrepresión en el cárter: si el aceite se evapora por entrar en contacto con superficies de elevadas temperaturas, se creará una presión adicional, siendo este el síntoma de mal funcionamiento del motor. Es decir, el aceite no debería evaporarse, y al hacerlo puede ser el resultado de un grave problema, debiéndose verificar las causas de esta situación.
- Otras fallas podrían ser resultado de: detonaciones, alta temperatura del agua de refrigeración, baja presión del aceite del circuito de lubricación, alta temperatura de aceite de lubricación, altas vibraciones del cigüeñal o del turbocompresor, alto consumo de combustible, posibles fallos de diseño, otros.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Para poder contrarrestar estos posibles riesgos, se necesitan instrumentos de medición. Estos serán utilizados para la medición de las temperaturas en las cámaras de combustión, temperatura, presión y caudal del aceite y fluido de refrigeración, detección de ruidos y sobrepresión.

El conocimiento del estado y calidad del aceite y los parámetros de operación resultan fundamentales para mantener al motor funcionando correctamente.

Además, en los mantenimientos programados se deben cambiar los cojinetes del cigüeñal o verificar su estado en caso de que la máquina pare inesperadamente. Esta tarea debe ser llevada a cabo por personal altamente capacitado.

El mantenimiento de los sopladores consta de la utilización de termómetros y manómetros para verificar que tanto la temperatura como la presión permanezcan dentro de los límites sugeridos. Otro de los aspectos a tener en cuenta es la lubricación del mismo, debiéndose revisar el aceite en los engranajes reemplazándolo cuando se lo requiera. Para los vapores corrosivos, se debe reemplazar los aceites con mayor frecuencia. Por esto, debe revisarse el nivel de aceite, existencia de ruidos o vibraciones atípicas. también deben limpiarse los filtros de aire, que en caso de estar obstruidos pueden afectar gravemente la eficacia del soplador y causar sobrecalentamiento. Los problemas típicos que puede presentar un soplador son los siguientes:

- Pérdida de aceite
- Desgaste excesivo del cojinete o engranaje
- Golpeteo
- Altas temperaturas

Otro de los gastos de mantenimiento importantes son los intercambiadores de calor. En estos casos es importante poder mantener un buen rendimiento térmico y reducir las fugas.

El bajo rendimiento puede deberse a:

- Conexiones erróneas en el intercambiador
- Problemas de presión
- Problemas de temperatura
- Problemas en el flujo del líquido
- Acumulación de impurezas

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Las fugas pueden deberse a:

- Fisuras de piezas
- Juntas con pérdidas (mal apriete de pernos)
- Desgastes

Una de las formas posibles para deshacerse de los compuestos orgánicos en él es realizar un retrolavado. Sin embargo, periódicamente deberá abrirse el intercambiador de calor (luego de despresurizar y alcanzar una temperatura adecuada), para llevar a cabo una limpieza en profundidad y reemplazar piezas en mal estado.

Los costos y frecuencias de mantenimiento de cada máquina se detallan en el capítulo Económico-Financiero.

2.3.2.5 Tratamiento de líquidos lixiviados

Una problemática a la hora de recolectar el biogás en los rellenos sanitarios es la presencia de agua en los mismos. Las principales causas son la liberación de líquido propia de los residuos, precipitaciones durante el llenado del relleno y antes del cerrado del mismo, o incluso por filtraciones no deseadas y como consecuencia de procesos que ocurren a nivel microbiano u otras reacciones.

Por esta razón, se necesita que el relleno tenga a disposición algún sistema de extracción de lixiviados. Algunos de los equipos a utilizar pueden ser bombas neumáticas, bombas sumergibles para los pozos verticales (que deben estar a una cierta altura para que haya un mínimo de líquido para no dañar la bomba), captación por gravedad en el fondo para los pozos horizontales y las trincheras, y trampas de condensado para separar el líquido del gas (que se debe ubicar posterior a las subestaciones, pero previa a la entrada a la planta de pretratamiento). Este líquido separado luego debe ser trasladado a un centro de tratamiento para adecuarlo según los valores establecidos.

2.3.2.6 Proceso de pretratamiento

Como se mencionó previamente, una vez recolectado el biogás y transportado a través de las tuberías se llega a la planta de pretratamiento. La principal función de esta planta es eliminar aquellas partículas indeseadas para que tenga las condiciones aptas para su valorización. De acuerdo con estimaciones realizadas por la empresa Tecsan, se estima

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

que la composición que tendrá el biogás a la llegada a la planta será de aproximadamente 50% metano, 28% dióxido de carbono y el resto se distribuye entre oxígeno y nitrógeno, esencialmente. A su vez, estará saturado en un 7% con agua, y tendrá partículas y lixiviados. Al tratarse de biogás obtenido a partir de rellenos sanitarios también se espera encontrar siloxanos que deben ser eliminados antes de la llegada a los motogeneradores.

2.4 SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS

2.4.1 Demisters

En la entrada de la planta se deben colocar unos aparatos denominados demisters o desnebulizadores. Dichos equipos tienen como función principal la retención y separación de los condensados y partículas que se encuentran presentes en el gas. Una vez que el gas lo atraviesa, se produce por un lado el flujo del gas filtrado que continúa su recorrido y por otro lado la corriente líquida que debe ser transportada a un lugar dentro de CEAMSE donde será tratado. Para verificar su correcto funcionamiento se debe controlar la presión a la entrada de este.

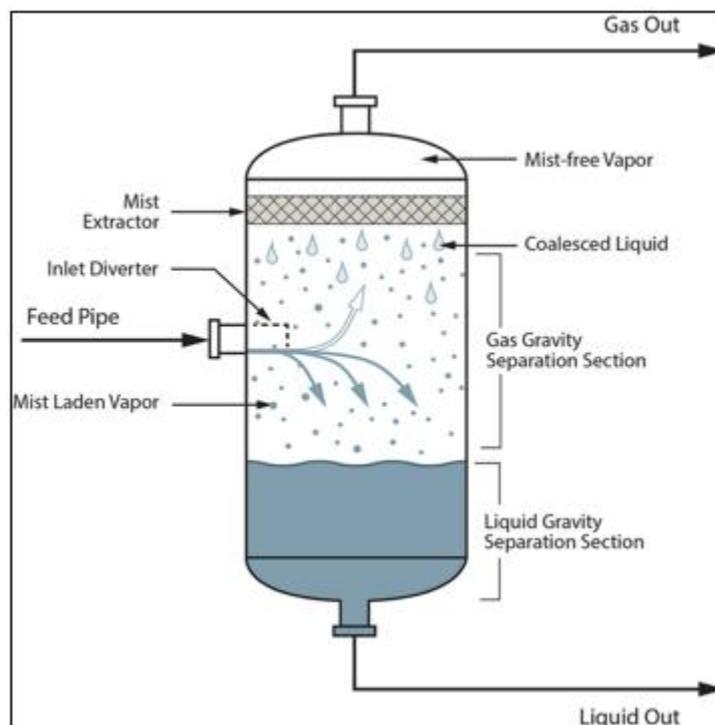


Figura 2.4.1.1. Separación de condensados y partículas presentes en el gas mediante el uso de demisters.

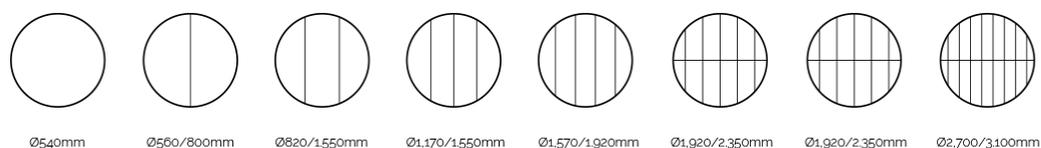
Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

El principio de funcionamiento de un desnebulizador es el siguiente. Cuando las pequeñas gotas del líquido son arrastradas en sentido ascendente por el gas a una determinada velocidad, éstas chocan bruscamente contra las mallas que forman el demister, dando lugar a un fenómeno de coalescencia que las obliga a reagruparse en otras mayores y, por gravedad, vuelven al fondo de la vasija o torre de separación.

Los demisters pueden alcanzar eficacias del 99% y alcanzan su máximo rendimiento cuando la velocidad del gas varía entre cierto intervalo, que es función de la densidad del líquido y del gas en las condiciones de servicio. El rendimiento se ve más afectado por las bajas velocidades que por las altas, por lo tanto, siempre es aconsejable utilizar velocidades altas. “La pérdida de carga o resistencia al paso del gas es prácticamente imperceptible” (Desnebulizadores Codina, 2019).

Dado que la cañería de entrada posee un diámetro de 600 mm, se seleccionó el demister CD-63 de Codina, SL, para diámetros entre 560 y 800 mm, que se muestra en la figura, ya que la velocidad del gas ronda los 6 m/s, la cual no es demasiado elevada.

Seleccionados



Principales tipos de desnebulizadores

Tipo	Aplicación	Densidad Kg/m ³	Sup.contacto m ² /m ³	Volumen libre (%)
CD-14	Velocidades de gas elevadas.	80	145	99
CD-18	Líquidos viscosos, partículas grandes.	100	180	98.75
CD-30	Estándar, para todos los usos.	150	300	98.00
CD-39	Gran eficacia. Normalmente tipo enrollado.	200	390	97.50
CD-63	Rendimiento elevado. Velocidades lentas.	300	635	96.25
CD-175	Destilación.	450	1750	94.00

Figura 2.4.1.2. Algunos demisters de Codina, SL (Desnebulizadores, Codina, SL, 2019).

2.4.2 Sopladores de ingreso

Para asegurar que la presión sea la adecuada se utilizan unos sopladores centrífugos de ingreso cuya función es justamente elevar la presión para poder así vencer la contrapresión del sistema de pretratamiento. En la descarga de los sopladores se miden composición, presión y temperatura del gas, siendo la medición de presión parte de un lazo que controla los variadores de frecuencia de los sopladores, con un set determinado.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Principalmente, existen dos tipos de dispositivos para la regulación de la presión en plantas de generación de energía a partir de biogás de relleno sanitario. Por un lado, existe la posibilidad de usar sopladores centrífugos, caracterizados por su capacidad de funcionar con muy altos caudales, cuyo valor depende del modelo elegido, pero con la posibilidad de trabajar con hasta 68.000 m³/h. Sin embargo, como principal desventaja se destaca que logran generar una diferencia de presión relativamente baja.

Por el otro lado, también existe la posibilidad de implementar sopladores o compresores de desplazamiento positivo. Dicha máquina tiene capacidades de caudal muy limitadas, como por ejemplo 2.500 m³/h, pero logrando mejores diferencias de presión a la entrada y la salida.

También debemos destacar que, en el ámbito de generación de energía a partir de biogás, es bastante normal elegir el soplador en función de la cantidad de biogás disponible, y como consecuencia del equipo seleccionado a la hora de la generación. Esto quiere decir que, si la planta que se desea dimensionar tiene una producción estimada mayor a 10 o 15 MW, se empieza a considerar el uso de turbinas y a su vez, el uso de compresores de desplazamiento positivo.

Con esta información y considerando que normalmente la presión en la que se debe trabajar es de unos 400 mbar, con una producción mínima estimada de 5 MW de acuerdo con lo mencionado previamente, y considerando la posible expansión si las condiciones lo permiten no será superior a 15 MW se procede a realizar una matriz de selección:

Factores no determinantes	Peso relativo	Tecnología			
		Soplador centrífugo		Compresor de desplazamiento positivo	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total
Caudal	35	9	315	4	140
Presión	20	8	160	8	160
Planta chica	25	10	250	5	125
Rendimiento	20	5	100	10	200
Total	100		825		625

Tabla 2.4.2.1. Matriz de selección para sopladores.

Como se puede observar, la opción que salió elegida es la de soplador centrífugo, debido especialmente a su capacidad de trabajar con altos caudales y su óptimo uso en plantas pequeñas. Se debe hacer una aclaración con respecto al rendimiento. En este caso hace

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

referencia a la capacidad de generar un cambio de presión con respecto a la entrada, el cual tiene poco peso en este caso considerando que no es necesario tanta variación con respecto a la que llega gracias a la baja caída de presión que ocurre en los tubos. La principal caída de presión se produce en el próximo paso: el intercambiador de calor.

Luego de definir el sistema debíamos elegir el modelo final. Se analizaron distintas marcas y modelos y se llegó a la conclusión que la mejor opción es la siguiente:

	742	751	1260	752	1270	761	1400	1600	1870	2000	2400
CAPACIDAD SOPLADOR/EXTRACTOR											
Flujo Mínimo (cfm)	700	950	1250	3250	1,175	1,250	2,300	3,000	3,000	5,000	10,000
Flujo Máximo (cfm)	4,800	8,500	8,000	9,000	8,500	14,500	14,500	12,000	15,000	24,000	40,000
Flujo Mínimo (m ³ /h)	1,200	1,600	2,125	5,500	2,000	2,100	3,910	5,100	5,000	8,500	17,000
Flujo Máximo (m ³ /h)	8,100	14,500	13,600	15,300	14,440	24,600	24,650	20,400	25,500	40,800	68,000
Presión Máxima (psig)	20.8	12.5	14.3	19.5	17.3	13	12.6	17	19	19	22
Presión Máxima (bar)	1.43	0.86	0.99	1.34	1.2	0.9	0.87	1.17	1.31	1.31	1.52
Vacío Máximo ("Hg)	18	13.7	14.8	17	16.2	14	13.8	16	17	17	17.6
Vacío Máximo (mm Hg)	450	350	375	425	412	350	351	406	432	432	447
NÚMERO DE ETAPAS	11	7	8	10	9	7	8	8	7	8	6
BENEFICIOS DEL DISEÑO											
Anillo Baffle Sencillo			■				■				
Anillos Baffle Multiple (MBR)					■			■	■	■	■
Pistón de Balance	■			■		■		■	■	■	■
Lubricación	Gr/Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Gr/Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Sello Laberinto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sello con anillo de Carbón	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
CONEXIONES											
Entrada (125# ANSI)	10"	12"	12"	14"	14"	14"	18"	16"	20"	20"	24"
Salida (125# ANSI)	8"	12"	12"	10"	12"	14"	14"/16"	14"	18"	18"	20"

Figura 2.4.2.2. Folleto de Gardner Denver donde se seleccionó el soplador.

Se tuvo en consideración que el flujo estimado debería rondar entre ese rango debido a que el soplador se debe dimensionar considerando el máximo caudal que puede circular en los tubos, siendo su destino la planta de pretratamiento o las antorchas de quemado, por lo que se eligió el modelo 751 de Gardner Denver. A su vez, se puede observar que la máxima presión es de 0,86 bar y en nuestro caso la misma rondará valores de alrededor de 200-400 mbar por lo que verifica.

2.4.3 Intercambiador de calor

El primer equipo necesario dentro de la planta de pretratamiento es un intercambiador de calor en donde se busca reducir la temperatura del gas ingresante para condensar agua y componentes pesados. Se estima que el soplador produce un aumento de la temperatura de alrededor de 40°C, por lo que el gas ingresa al intercambiador con una temperatura de 90°C y sale a una temperatura de 7°C, aproximadamente.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En este equipo, se propone el uso de agua y no aire, dado que el agua es 23,5 veces más eficiente para transferir calor que el aire; el agua tiene una conductividad térmica de 0,61 W/m°C, mientras que el aire de 0,026 W/m°C. Además, no dependen de la temperatura del ambiente, no son ruidosos y son dispositivos de menor tamaño.

Por lo tanto, se procede a realizar la selección del equipo. Los tipos de intercambiadores considerados son: tubos y coraza, doble tubo, placas y tubo en espiral.

En primer lugar, se analizan los factores determinantes. Dado que la función del intercambiador de calor es condensar las partículas de agua del flujo de gas, el intercambiador debe admitir un cambio de fase. Además, dado que se trata de biogás, es importante que sea completamente hermético y que no exista contacto directo entre los fluidos involucrados, de tal forma de no contaminar el agua que se utiliza como refrigerante. También, debe poder utilizarse para líquido-gas. Por último, debe soportar temperaturas y presiones que rondan los 100°C y los 400 mbar, respectivamente, y una caída de presión de 200 mbar, aproximadamente. Una de las desventajas de los intercambiadores de tipo doble tubo es que presentan fugas, por lo que al no poder garantizar la completa hermeticidad del dispositivo, se descarta esta opción.

Luego, se procede a analizar las alternativas restantes que sí cumplen con los factores determinantes, mediante una matriz de selección en la que se consideran los factores no determinantes, entre ellos, la eficiencia térmica, los costos y el mantenimiento.

Factores no determinantes	Peso relativo	Intercambiador de calor							
		Tubo y coraza		Compacto		Placas		Tubo en espiral	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
Mantenimiento	40	6	240	7	280	9	360	4	160
Eficiencia térmica	30	5	150	8	240	8	240	6	180
Costos	30	6	180	8	240	8	240	8	240
	100		570		527		840		580

Tabla 2.4.3.1. Matriz de selección para el intercambiador de calor.

El factor al cual se le otorga mayor relevancia es el mantenimiento del equipo, ya que, al circular biogás, es importante que el intercambiador tenga un bajo grado de ensuciamiento y que se pueda limpiar fácilmente, para que la frecuencia y el tiempo de mantenimiento sean lo menor posible. Los intercambiadores de placas son fáciles de dismantelar y pueden limpiarse tanto mecánica como químicamente, a diferencia de los de tubo y coraza, los cuales poseen factores de ensuciamiento elevados, son difíciles de inspeccionar y en los que la limpieza mecánica es prácticamente imposible y sólo puede realizarse por métodos químicos. Los compactos también pueden limpiarse químicamente, y debido a que el área por la que circulan los fluidos es estrecha, son más sensibles al ensuciamiento y las obstrucciones, por lo que la frecuencia de mantenimiento puede llegar a ser mayor. Los intercambiadores en espiral tienen la desventaja de ser muy difíciles de limpiar.

En cuanto a la eficiencia térmica, los intercambiadores de placas son los que destacan en este aspecto. Debido a la turbulencia inducida en el flujo y al pequeño diámetro hidráulico, pueden obtener una eficiencia de hasta cinco veces mayor que la alcanzada en una versión tubo y coraza para una similar aplicación. Además, su diseño es ideal cuando se requieren de grandes áreas de transferencia de calor. Los intercambiadores compactos también permiten lograr elevadas razones de transferencia de calor en un volumen pequeño. Por esta razón, son muy útiles para contrarrestar el bajo coeficiente de transferencia de calor asociado con el flujo de gases mediante una mayor área superficial. En cuanto a la eficiencia de los intercambiadores de tubo en espiral, las tasas de transferencia de calor de espiras helicoidales o planas son más altas en comparación con la de tubos rectos.

Por último, se comparan los costos básicos que incluyen los de inversión inicial, operación y mantenimiento. Los intercambiadores de placas son los menos costosos. Los compactos también tienden a ser económicos si se considera el costo total de instalación, ya que, si bien los materiales que se utilizan para su construcción son caros, permiten importantes ahorros de energía. Por otro lado, si bien los de tubo y coraza tienen una larga vida útil, tienen altos costos de inversión, operación y mantenimiento. En el caso de los intercambiadores de tubo en espiral, el hecho de que estos dispositivos resultan compactos y térmicamente más eficientes que las opciones tradicionales disponibles en

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

el mercado, justifica su alto costo, que se convierte en una inversión rápidamente recuperable.



Figura 2.4.3.1. Comparación entre intercambiador de placas y casco y tubo. Fuente: Arax, (2019).

En la matriz, puede observarse que la tecnología que obtuvo el mayor puntaje es el intercambiador de placas. Por lo tanto, se selecciona según las especificaciones técnicas el intercambiador de placas ARAX Safetytherm ND150L. Entre sus características principales se puede mencionar que las placas son de 1803 mm x 545 mm, posee un caudal de 380 m³/h y una presión máxima de 13 bar.

2.4.4 Separador de fases

Una vez fuera del intercambiador, se separan estas fases a través de un separador de fases y se direcciona hacia la zona de tratamiento de lixiviados. Se controla constantemente el caudal al ingreso de los equipos y la temperatura a la salida de estos.

Dado que, a diferencia de los verticales, los separadores de fase horizontales son más pequeños, menos costosos y el tiempo de residencia del gas dentro del dispositivo es mayor, se propone el uso de este tipo de separador.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

El tiempo de retención asegura el equilibrio entre el gas y el líquido a la presión de operación del separador. Éste varía entre 30 segundos y 3 minutos según las sustancias involucradas y se determina al dividir el volumen del líquido en el separador por el flujo de entrada de líquido.

2.4.5 Sopladores secundarios

A la salida de los intercambiadores de calor se debe unificar las corrientes de flujo a través de un colector, en donde nuevamente se necesita de sopladores secundarios para asegurar la presión para impulsar el gas hacia el resto del proceso. Estos sopladores deberían poder medir las condiciones del gas a la entrada de los motogeneradores para evitar todo tipo de problemas. Se estima una presión de trabajo de alrededor de 200 mbar, y dado que no existen factores dentro de la planta que tengan una incidencia realmente considerable más allá del efecto de caída dentro del intercambiador de calor (en las demás etapas es despreciable debido a que son distancias cortas y no hay maquinaria que influya tanto en la presión) las condiciones de la selección de los sopladores primarios se repite aquí, teniendo como resultado nuevamente que se debe elegir un soplador centrífugo.

Especificaciones de Desempeño Gardner Denver

	260	310	400	510	725	550	42	732	850	741	870
CAPACIDAD SOPLADOR/EXTRACTOR											
Flujo Mínimo (cfm)	100	60	70	150	150	200	50	400	550	650	1,000
Flujo Máximo (cfm)	440	450	1,050	1,300	1,310	1,300	1,200	2,400	3,200	4,400	5,500
Flujo Mínimo (m ³ /h)	170	102	119	255	250	340	85	650	935	1100	1,700
Flujo Máximo (m ³ /h)	680	765	1,784	2,210	2,200	2,210	2,050	4,100	5,440	7,500	9,350
Presión Máxima (psig)	8.6	7.4	7.2	11.8	16.5	11.8	9.75	15.2	14.7	16	17
Presión Máxima (bar)	0.60	0.60	0.51	0.81	1.14	0.81	0.67	1.05	1.01	1.10	1.17
Vacío Máximo ("Hg)	11.2	11.2	9.9	13.7	16	13.7	12	15	15.2	15.5	16
Vacío Máximo (mm Hg)	284	284	251	348	400	348	300	380	386	380	406
MAXIMO NÚMERO DE ETAPAS	5	11	10	10	7	10	8	10	9	9	10
BENEFICIOS DEL DISEÑO											
Anillo Baffle Sencillo						■			■		■
Anillos Baffle Multiple (MBR)											
Pistón de Balance								■		■	■
Lubricación	Grasa	Grasa	Grasa	Grasa	Aceite	Gr/Aceite	Gr/Aceite	Gr/Aceite	Gr/Aceite	Gr/Aceite	Gr/Aceite
Sello laberinto	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Sello con Anillo de Carbón						○	○	○	○	○	○
CONEXIONES											
Entrada (125# ANSI)	2" *	3"	5"	5"	6"	6"	6"	6"	8"	8"	10"
Salida (125# ANSI)	2" *	3"	5"	5"	5"	5"	6"	6"	8"	8"	8"

Figura 2.4.5.1 Folleto de Gardner Denver donde se seleccionó el soplador.

Se tuvo nuevamente en consideración que el flujo estimado debería rondar entre ese rango, por lo que se eligió el modelo 732 de Gardner Denver. A su vez se puede observar que la máxima presión es de 1,05 bar y en nuestro caso la misma rondará valores de alrededor de 200-400 mbar por lo que verifica.

2.4.6 Tratamiento de siloxanos

Los siloxanos son compuestos derivados del silicio que se encuentran presentes principalmente en las siliconas. Estas son compuestos muy utilizados en productos industriales, domésticos, entre otros, como por ejemplos en champús, detergentes, adhesivos, etc. Durante la fermentación de los residuos las siliconas se transforman en siloxanos.

Resulta necesario la extracción de estos compuestos ya que en la combustión del biogás los siloxanos se descomponen en dióxido de silicio y otros compuestos derivados que sedimentan en las partes de las máquinas utilizadas, ya sea motores, turbinas u otros. La sedimentación provoca abrasiones, desgastes, fallas y otros problemas. Con el aumento de las sedimentaciones la eficiencia de la máquina se reduce, la combustión no se realiza de manera completa y por lo tanto aumentan las emisiones de gases, el mantenimiento se hace más frecuente, etc.

Es por todo esto que la selección adecuada de un método y tecnología de tratamiento de biogás para la remoción de siloxano es necesaria. Actualmente, los métodos más comunes son:

- **Enfriamiento**
Este método consiste en reducir la temperatura del biogás para lograr la condensación de los siloxanos. Puede realizarse una refrigeración hasta 4°C o un subenfriamiento hasta los -25°C. Como se puede observar en el siguiente gráfico con el descenso de la temperatura aumenta la reducción de siloxanos presentes en el biogás.

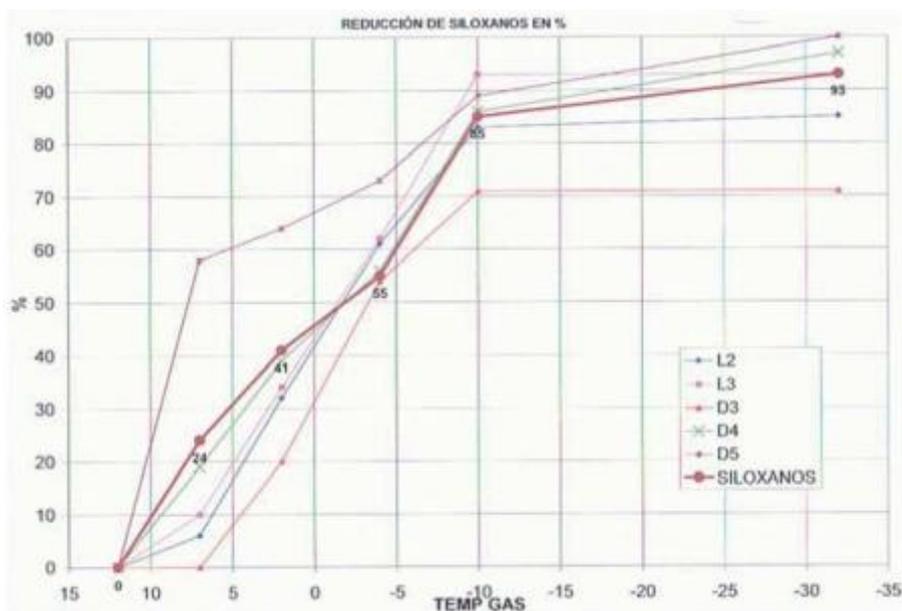


Figura 2.4.6.1. Reducción de la cantidad de siloxanos en función de la temperatura de enfriamiento. Recuperado de <https://blog.condorchem.com/tratamiento-siloxanos-biogas/#origin> (2019).

Es un método simple pero muy costoso debido al uso elevado de energía y también con alto costo de instalación, por otro lado, los costos de mantenimiento son bajos. En cuanto a la eficiencia esta varía según la temperatura de enfriamiento siendo el máximo de aproximadamente 90% a temperaturas menores a los -30°C.

- Absorción, consiste en eliminar el siloxano presente en el gas con una corriente líquida de un componente donde los siloxanos sean solventes. Los más utilizados son con solventes orgánicos de cadena de carbonos y con ácidos fuertes como ácido sulfúrico y nítrico. Este último no lo tendremos en cuenta ya que es muy corrosivo, además de presentar riesgos para la salud y el medioambiente. La absorción con compuestos orgánicos es un método con una eficiencia alrededor del 97%, altos costos de regeneración, los costos de inversión son bajos y de operación medios. Su eficiencia, a pesar de ser generalmente alta, depende del solvente utilizado y de los tipos de siloxanos presentes en el biogás.
- Adsorción, los métodos de adsorción, a diferencia de la absorción, consiste en extraer un componente gaseoso con un sólido o líquido que puede retener el componente a extraer. Los más utilizados son:
 - Carbón activado, es el método más difundido para el tratamiento de biogás. Tiene a su vez la capacidad de reducir las cantidades de ácido sulfhídrico (H_2S) y de compuestos orgánicos volátiles (COV). Su costo de inversión es bajo y su costo de mantenimiento consiste en el cambio y la regeneración de los filtros de carbonos. Actualmente, estos filtros suelen ser móviles para que no exista necesidad de parar

el proceso para cambiarlos. Además, muchas de las empresas que venden estos filtros ofrecen servicio de restauración de estos y adecuado tratamiento de los desechos. La eficiencia de estos filtros es elevada de entre un 90 y 99%.

- Sílica Gel, su funcionamiento es similar al de los filtros de carbón activado sin embargo el costo de estos es más elevado. Las eficiencias que alcanza son mayores al 95%.

A continuación, se presenta la matriz de selección según los siguientes factores no determinantes

- A. Eficiencia
- B. Costo de Instalación
- C. Costo Mantenimiento
- D. Necesidad de regeneración o cambio
- E. Eliminación de otros compuestos

FND	Peso relat	Tecnología: Tratamiento de Siloxanos									
		Absorción		Enfriamiento		Subenfriamient		Carbón Activado		Sílica Gel	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Tot
A	30	8	240	4	120	8	240	9	270	8	240
B	20	6	120	2	40	2	40	8	160	8	160
C	25	4	100	8	200	8	200	3	75	2	50
D	15	5	75	9	135	9	135	3	45	3	45
E	10	0	0	0	0	0	0	7	70	6	60
	100		535		495		615		620		555

Tabla 2.4.6.1. Selección de método de tratamiento de siloxanos.

El factor al cual se le da mayor importancia es a la eficiencia de los métodos debido a los inconvenientes que puede generar la presencia de siloxanos. El método que posee mayor eficiencia es el carbón activado que puede alcanzar un 99% de eficiencia, le sigue el subenfriado, absorción y sílica gel ambos con eficiencias levemente menores al carbón activado. Por último, se encuentra el método de enfriamiento a 4°C que tiene una eficiencia muy baja de alrededor del 30%.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Otros factores que se tienen en consideración son los costos de instalación y mantenimiento. En los casos de subenfriamiento y enfriamiento los costos de instalación son más elevados que los otros métodos, mientras que los costos de mantenimiento son más bajos. En cuanto a los otros métodos, sus costos de instalación son bajos pero el mantenimiento es más costoso debido a la necesidad de cambiar los filtros, en los casos de carbón activado y sílica gel, o el compuesto absorbente en el caso de absorción.

Además, utilizamos como otro factor la necesidad de regeneración o cambio. Esta necesidad es alta en los filtros de carbón activado o sílica gel los cuales se deben retirar con frecuencia para su regeneración. Actualmente, los sistemas permiten los cambios sin detener el proceso y luego de la regeneración los filtros se pueden reutilizar. La regeneración del componente absorbente también es posible y debe realizarse con menor frecuencia que los métodos anteriores. En el caso de los métodos de enfriamiento y subenfriamiento, puede existir el cambio de ciertos reactivos que aceleran y mejoran el proceso, pero estos no son costos ni obligatorios para el uso del método.

Por último, evaluamos la variable de eliminación de otros compuestos, ya que algunos métodos eliminan otros compuestos que mejoran la pureza del biogás. El carbón activado permite reducir el contenido ácido sulfhídrico y dióxido de carbono. En el sílica gel puede eliminar también el agua que pueda haber quedado de etapas anteriores.

Luego de otorgar puntaje a cada uno de los factores y métodos se determina que el tipo de tratamiento que presenta más beneficios es el de carbón activado. Una vez definido el proceso óptimo se debió elegir una marca y modelo. En primer lugar, se definió la marca Desotec debido a su confiabilidad, dentro de la cual tenemos una amplia variedad de productos. Entre ellos se destacan el Aircon HC, el Aircon 2000 LP y el Aircon 1000 BG. Sin embargo, elegimos el Aircon 2000 LP principalmente por su relación entre capacidad de proceso y tamaño ocupado soportando las presiones de operación.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

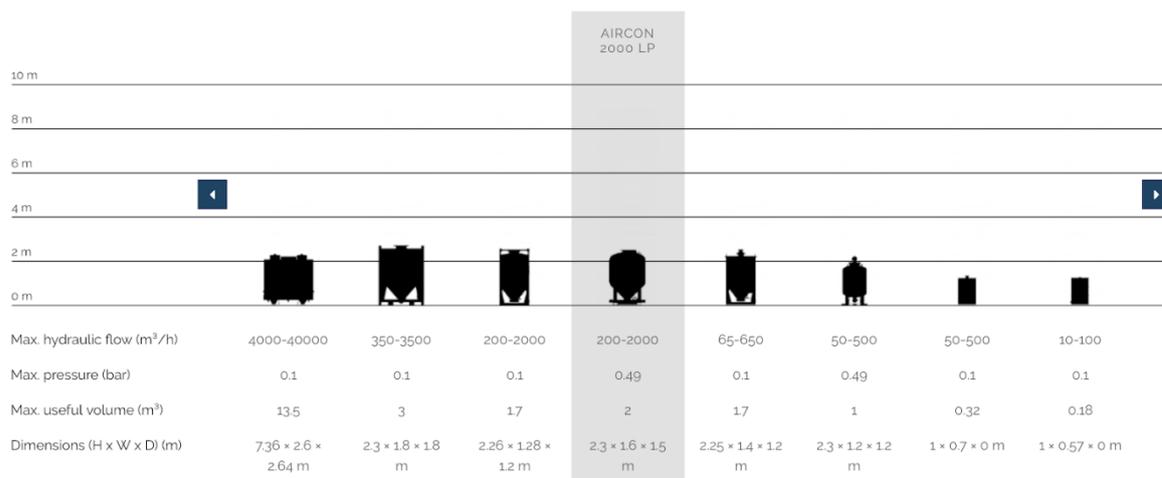


Figura 2.4.6.2 Modelos de filtros de carbono de la empresa Desotec.

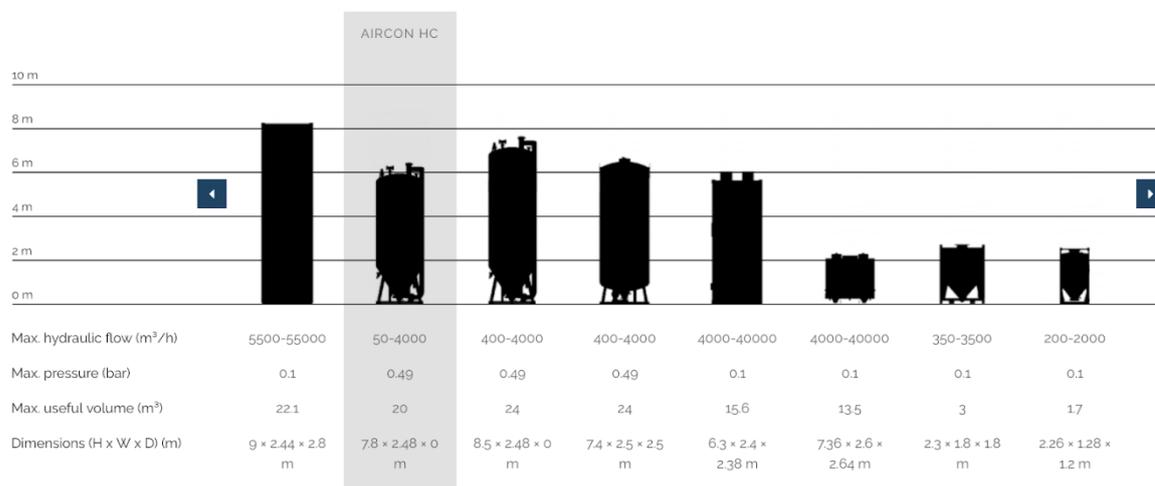


Figura 2.4.6.3. Modelos de filtros de carbono de la empresa Desotec.



AIRCON 2000 LP

El AIRCON es un filtro móvil de carbón activo, especialmente desarrollado para el tratamiento y purificación de aire y gases.

Flujo hidráulico máx. (m ³ /h)	200-2000
Presión máx. (bar)	0.49
Volumen útil máx. (m ³)	2
Dimensiones (A x A x L) (m)	2.3 x 1.6 x 1.5

Figura 2.4.6.4. Filtro de carbono Aircon 2000 LP.

2.4.7 Filtros de partículas

Los filtros de partículas son necesarios para eliminar las partículas sólidas presentes en el biogás, tanto las que provienen de la extracción con las que pueden ser arrastradas de las

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

diferentes etapas. Estas partículas pueden generar daños en la maquinaria utilizada, reduzcan la pureza del biogás o dificulten el paso del flujo. Los tipos de filtros más utilizados para esta tarea son ciclones y multiciclones, filtro de grava o cerámica.

Los ciclones y multiciclones utilizan la fuerza centrífuga para eliminar del flujo de gas las partículas sólidas y líquidas presentes. La diferencia entre estas dos son los rendimientos alcanzados para la extracción según el tamaño de partículas y las pérdidas de presión ocasionadas. Pueden eliminar partículas de entre 10 y 3 μm variando su eficiencia. El costo de estas máquinas es bajo, pero su costo de operación alto principalmente por uso de energía, por último, su costo de mantenimiento también es bajo.

Los filtros de grava se utilizan para capturar partículas gruesas presentes en el biogás, además de eliminar condensados. Tienen alta eficiencia, pueden eliminar partículas de hasta 150 μm . El costo de los filtros es bajo al igual que su costo de mantenimiento que consiste en la limpieza de los filtros temporalmente.

Los filtros de cerámica eliminan partículas finas del biogás, al igual que los otros también eliminan condensados. Tiene alta capacidad de filtrado y los cartuchos son fácilmente extraíbles. Suelen necesitar de filtros de grava anterior, el costo de instalación y de mantenimiento es bajo, requiere de la limpieza de los filtros.

Los filtros de cerámica y de grava suelen utilizarse en conjunto debido a que los de grava eliminan partículas gruesas mientras que los de cerámica eliminan partículas finas.

Para la selección de tecnologías vamos a evaluar la elección entre ciclones o multiciclones y el uso conjunto de cerámica y grava.

Factores no determinantes	Peso relativo	Tecnología: Tratamiento Partículas					
		Ciclones		Multiciclones		Grava y Cerámica	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
Eficiencia eliminación de partículas	40	7	280	8	320	9	360

Costo de mantenimiento	25	8	200	8	200	7	175
Costo operación	35	5	175	5	175	7	245
	100		655		695		780

Tabla 2.4.7.1. Selección de tecnología para tratamiento de partículas.

Para la selección de filtros se evaluaron en primer lugar las eficiencias de eliminación de partículas finas y gruesas, se las considera por separado debido a que no todos los filtros tienen la capacidad de eliminar todos los tamaños de partículas. Los ciclones tienen la capacidad de remover partículas menores a los $3 \mu m$ con una eficiencia del 96%, por lo cual tienen elevada eficiencia para la remoción de partículas finas y gruesas. Los multiciclones tienen una eficiencia levemente superior a estos para las partículas menores a $3 \mu m$. Por último, el método combinado tiene un 99% de eficiencia para la remoción tanto de partículas finas como gruesas.

También se analizan los costos de operación y mantenimiento, en los ciclones y multiciclones el mantenimiento es de bajo costo y frecuencia sin embargo su costo de operación es elevado. En el método combinado su operación es menos costosa que en ciclones y multiciclones, pero requiere mayor mantenimiento por la necesidad de cambiar los filtros utilizados.

Como se puede observar, la elección del uso combinado de grava y cerámica resultó ser la de mayor puntaje.

Como resultado, se prosigue a la selección del modelo a utilizar en el proyecto. Como resultado final se seleccionó la cámara de doble filtro de grava, modelo 3090 con una capacidad de 70-90 m³/h de la empresa Aytok.

2.4.8 Generación

Existen diversas tecnologías para la generación de energía eléctrica a partir de biogás. Vale la pena mencionar los motores de combustión interna, turbinas de gas, turbinas de vapor, microturbinas, ciclo combinado y celdas de combustión. Cada una de ellas tiene diferentes ventajas y desventajas y pueden ser útiles en distintos casos de plantas de generación. Más allá de sus diferencias todas cumplen con las variables determinantes del proyecto que serían motores que trabajen a partir de biogás y este pueda obtenerse a partir

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario de residuos, es decir, que no tenga un alto grado de pureza; si mayor al 50% ya que este es el requerimiento que se impuso para la planta.

Las turbinas de gas poseen una eficiencia de entre 26% a 32% en la mayoría de los casos, excepcionalmente se encuentran algunas de 33 o incluso 34%, haciendo referencia al biogás. Esta eficiencia puede a su vez ser menor en casos de caudales no nominales o con un bajo porcentaje de metano en la composición del gas suministrado. De todos modos, posee una gran adaptación a gases de baja pureza manteniendo el funcionamiento de la máquina, aunque sin ser el ideal, y dentro de las diferentes tecnologías propuestas es una de las más rentables en términos de inversión inicial por kilowatt instalado, la cual ronda los 1000 dólares. Estas turbinas producen en un rango entre 2 y 10 MW, entonces en una instalación de unos pocos megavatios las consecuencias frente a cualquier inconveniente de este resultan altas, limitando la producción en caso de cualquier tipo de desperfecto o detención por mantenimiento. Las turbinas son un equipo delicado, más en el caso de adaptarlo para gas de residuos en lugar de gas natural, por ende, será necesario para garantizar costos razonables de operación y mantenimiento para la instalación y uso.

La eficiencia de las turbinas de gas podría llegar a alcanzar un 40% en condiciones ideales al incluir un ciclo combinado. El inconveniente que esto trae aparejado es la necesidad de compresores que elevaría de manera considerable el costo de instalación. Éstos serían factibles en tamaños de planta superiores, de por lo menos 10 KW por cada ciclo combinado instalado. El calor emitido por la turbina podría ser aprovechado para calentar agua, pero sólo se podría utilizar a una cierta distancia a la redonda de las instalaciones. Y dado que la ubicación del proyecto se encuentra alejada de lugares donde se podría llegar a comercializar, la cogeneración no se considera una opción viable. Además, en términos de costo y por ser el compresor un aparato excesivamente delicado, los costos de operación y mantenimiento serán aún mayores.

Tanto el uso de las celdas de combustión, como de turbinas de vapor podrían ser útiles en la obtención de energía, pero en este caso no son económicamente viables. En primer lugar, su fabricación no está tan desarrollada y no logra llegar a ser económicamente competitiva como las otras opciones, aunque la misma logra el menor grado de contaminación al medio ambiente. Por esto misma esta queda descartada como posibilidad. La turbina de vapor por su parte con una eficiencia de un 40% en condiciones ideales es una opción válida, su problema son los costos de instalación muy elevados por

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

las calderas, condensadores, recalentadores, desgasificadores, desmineralizadores de agua, torre de refrigeración y demás. Esto hace que, para una potencia como la que se obtendrá en este proyecto, el valor por kilowatt generado sea elevado, debido a la inversión que demanda este tipo de usina. Resultaría práctica para centrales de generación con producción de entre 10 a 50 MW o incluso superiores. Al igual que la otra posibilidad no aparece incluida en la matriz de decisión de tecnología para la generación.

Las microturbinas poseen un costo de entre 3000 a 5000 dólares por kilowatt instalado y una eficiencia eléctrica de entre el 25% al 30%. Sus ventajas son que operan con menores caudales de biogás y que las mismas pueden trabajar con biogás de baja pureza, incluso inferior al 35%. Producen menos NOx (gas muy contaminante y tóxico) que la mayoría de las tecnologías mencionadas. Su adaptabilidad para modificar cantidades de caudal es ideal por su baja capacidad, aunque esto lo vuelve impráctico para instalaciones con grandes capacidades de producción energética. Su capacidad para variar la producción en caso de que alguna máquina fallara o esté en mantenimiento es su principal ventaja, debido justamente a la baja producción de cada una de las máquinas. Su mantenimiento no es tan elevado como en el caso de las turbinas de gran tamaño, pero tampoco se lo puede despreciar al mismo, por ende, se le da un valor medio.

Por último, están los motores de combustión interna o reciprocantes. Estos son los que la empresa Tecsan ha optado para las instalaciones anteriores de su planta de generación. La eficiencia varía entre un 32 y un 40%. En general, se estima un rendimiento del 37% en utilización de biogás proveniente de relleno sanitarios. Estos motores requieren un mínimo de 45% de composición de metano para lograr llevar a cabo el proceso de conversión de energía, aunque en la empresa se estipula una composición de metano no menos a la mitad del caudal de gas, es decir, el 50% del gas entrante debe ser metano como se mencionó anteriormente y en caso de ser superior la composición sólo beneficiaría el proceso ya que la mayoría de los motores vienen diseñados con la condición nominal de una composición superior de metano. Los costos de instalación de este tipo de tecnología rondarían entre los 1100 y 1700 dólares por kilowatt instalado. Al referirnos a la adaptabilidad por caudales se lo considera una tecnología bastante práctica ya que posee capacidades de generación de entre 0,5 hasta por lo menos 10 KW. Esto da la pauta que en el caso de algún desperfecto de uno de los motores instalados no se detendría toda la producción de energía sino una porción considerable pero no demasiado

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

grande, como sí ocurriría en el caso de una turbina donde al detenerse una se perdería la mitad o incluso toda la generación dependiendo de la cantidad y capacidad de las turbinas instaladas, su capacidad de adaptar la producción frente a algún inconveniente más allá de no poseer el nivel de las microturbinas, se considera muy buenos para plantas de algunos pocos MW. Los costos de mantenimiento tampoco son pequeños en este caso y también se consideran un factor a tomar en cuenta, están al nivel de los correspondientes a las turbinas.

Con esta información de las distintas posibilidades de tecnologías y ya desechadas dos, se realiza la matriz de selección que aparece a continuación. En esta se puede ver la principal variable determinante la cual implica la posibilidad de utilizar estas tecnologías para obtener energía a partir de los gases emitidos por los residuos y su pureza media de metano. Para todas las incluidas estos son adecuados por los rangos en los que se trabaja en estas plantas y por el tipo de tecnología.

Con respecto a las variables de decisión incluidas se les atribuyó un peso de ponderación y un valor de entre 0 a 10 por las características de cada tecnología y moviéndose según cada variable. La de mayor peso lógicamente es el rendimiento ya que en base a este se va a mover no solo la cantidad de máquinas y por ende la inversión necesaria, sino que también esto puede afectar el cuello de botella de la empresa. El rendimiento en este caso es fundamental ya que cada parte que no se aprovecha de la energía se pierde y es un desperdicio considerable en grandes escalas; el valor incluido es el rendimiento medio de cada tipo de generador. Luego aparece la relación costo/capacidad, haciendo referencia a la cantidad en miles de dólares a invertir por cada kW a instalar. Para esto se utilizó el costo medio de los costos aproximados que se tienen según la máquina, pero en el valor incluido al ser a más cercano al 10 una mejor calificación, se incluyó 10 menos el valor dicho anteriormente, quedando que a menor costo de instalación más alta la calificación.

Ya con un menor peso relativo aparecen los repuestos, los cuales más allá de una importancia considerable, no varían en gran medida ya que dependen más del vendedor y los servicios que el mismo brinda que del tipo de máquina, por eso se les atribuyó un valor medio y en el caso del ciclo combinado levemente inferior debido a que en caso de una falla no es suficiente con uno o dos repuestos, puede hacer falta repuesto de todos los componentes que aunque estén a disposición hay más probabilidad del faltante de alguno. En el caso de la elasticidad ocurre algo similar ya que como ya se mencionó

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

anteriormente, en el rango trabajado no ocurren grandes variabilidades en las máquinas, aunque las microturbinas y los motores recíprocos o de combustión interna se ven menos afectados en su rendimiento frente a cambios de composición o caudal. El caso del mantenimiento refiere no solo a la necesidad de frecuencia de este sino a su costo necesario para evitar fallas, el ciclo combinado es especialmente delicado por el compresor y por ende necesita un mantenimiento muy alto y es por eso por lo que en este aspecto su calificación es muy baja. Por el contrario, en el caso de las microturbinas rara vez tienen inconvenientes y suelen ser bastante eficientes.

Como última variable aparece la reserva fría la cual refleja la necesidad de aparatos para reemplazar posibles inconvenientes en otros además de los costos aparejados que contraen el tener una máquina extra, siendo este un gasto extra muy grande en el caso de las turbinas y mucho menor en el caso de las microturbinas. Esto es debido a las capacidades de producción de cada una, mientras que una produce un mínimo de 3 MW, la otra produce menos del 10% de este valor, por ende, el gasto de una máquina extra para casos de emergencia es mucho menor. Yendo al caso de los motores este es un gasto medio entre los dos anteriores, ya que su capacidad de producción es intermedia y adaptable en los valores de producción que se realizarán según lo mencionado en la sección de mercado.

A continuación, se muestra la tabla de elección de tecnología según los siguientes factores no determinantes:

- | | |
|------------------|-----------------------------|
| A. Rendimiento | D. Relación costo/capacidad |
| B. Mantenimiento | E. Repuestos |
| C. Elasticidad | F. Reserva fría |

FD	Ponderac.	Tecnologías de Generación							
		Turbina de Gas		Ciclo combinado		Microturbina		Motor de combustión interna	
Biogás		OK		OK		OK		OK	
FND		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

A	30	2.9	87	4	120	2.7	81	3.7	111
B	10	5	50	2	20	7	70	5	50
C	10	6	60	6	60	7	70	7	70
D	25	9	225	5	125	6	150	8.5	212.5
E	15	6	90	5	75	6	90	6	90
F	10	3	30	1	10	10	100	7	70
Total	100		542		410		561		603.5

Tabla 2.4.8.1. Matriz de ponderación de la tecnología de generación.

Valorando los resultados de la matriz, podemos concluir que la tecnología de generación más acorde al proyecto de una planta del orden de los 5 MW sería la utilización de motores de combustión interna. Tanto por su eficiencia comparativamente superior en casi todos los casos, como por su adaptabilidad en casos de desperfectos. Esto último además posee una ventaja extra en el caso del mantenimiento; con una utilización de entre el 85% y 90% de las máquinas impuesto tanto por la empresa como por los fabricantes, en donde en los tiempos restantes se les aplicarían tareas de mantenimiento y reacondicionamiento dependiendo el caso. Al existir motores de capacidades no muy grandes, los tiempos de mantenimiento se intercalan y la pérdida de productividad en esos momentos no es excesiva como en otros tipos de tecnologías. Se estima por los distintos fabricantes un tiempo de vida útil de 80000 horas para motores de las dimensiones de 0,5 a 1,1 MW, por ende, con dicha utilización y esta vida útil del producto se asegura que no es necesario hasta la finalización del proyecto la compra de nuevos motores ya que alcanzan para cubrir los 10 años del proyecto. Entonces utilizando un motor con capacidad productiva de máximo 1,1 MW, y estimando la producción de 5 MW; el cual vale aclarar que se justificara de manera completa en la sección de balance de línea; se estima una necesidad de 8 motores.

El número de 8 motores viene dado por la cantidad necesaria para producir colocando como máximo factor de utilización el 90% del tiempo, el factor de planta y tener necesariamente en todo momento un motor auxiliar como reserva fría. La utilización límite se explica por la vida útil de los fabricantes aclarada anteriormente y con estos valores el número sería de 0,82 con lo cual los motores mantendrían funcionamiento hasta

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

el final del proyecto. El factor de planta hace referencia a la relación entre la máxima capacidad a producir de los motores y el real promedio de estos. Esta se estima con una producción promedio de estos motores de 0,95 MW (dado motores de la misma capacidad que la empresa Tecsan utilizó en otros proyectos y por *know how* se utiliza este valor) y su máxima capacidad de 1,1 en la misma unidad, dando esto como resultado 0,86. Además del resultado obtenido, para asegurarse que más allá que no en todo momento todas las máquinas trabajan en simultáneo, no se utilizara una de ellas en el proceso en caso de falla, se le agrega una a dicho número y de este modo se llega al número de motores a utilizar, dada por la cantidad de energía a producir.

También su costo resulta ser uno de los menores entre las tecnologías lo cual es un factor influyente en la determinación del tipo de generador utilizar en el proyecto de inversión. Con esto y el valor final devuelto por la matriz, se inclinó por utilizar los motores de combustión interna o reciprocantes.

A continuación, se presenta un cuadro con las tecnologías sugeridas para cada tamaño de planta en términos generales, y como se ve coincide con la elección hecha para este proyecto de generación de energía eléctrica. Esto es a modo de muestra y confirmación del análisis realizado, concordando con estas sugerencias y comprobando dichas conclusiones.

Tecnología	Tamaño preferido de planta (MW)	Eficiencia de conversión eléctrica (%)
Microturbinas	< 0,1	25 a 30
Motores de combustión interna	0,5 a 12	32 a 40
Turbina de gas	3 a 18	26 a 32
Turbina de vapor	10 a 50	24 a 29
Ciclo combinado	> 10	38 a 45

Tabla 2.4.8.2. Rangos típicos de flujos, potencias y eficiencias de tecnologías de generación eléctrica.
Fuente: Conestorga Rovers & Associates (2004).

Ahora con la tecnología ya seleccionada, se puede ahondar en los gastos de operación y mantenimiento, los cuales se calcula entre un 10 y 12% del valor de la instalación, más allá de la reserva fría para este tipo de maquinaria seleccionada.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

El caudal que se utiliza para la obtención de energía con motores de la capacidad ya mostrada resulta de $517 \text{ m}^3/\text{hr} \cdot \text{MW}$, para la tecnología a utilizar. Además, se inclinó por la marca Jenbacher por su eficiencia adecuada y en base a esta se estipula la vida útil y sus capacidades de producción. Esta es una Jenbacher de tipo 3 con capacidades de entre 500 y 1100 kW, un J-320. Esta da un voltaje de salida de 400V y un type rating de 1550 KVA. A su vez, posee emisiones de los gases contaminantes NOx menor a $500 \text{ mg}/\text{Nm}^3$, aceptable en términos de contaminación. A continuación, se ve una figura de este motor. (Datos extraídos del manual provisto por la empresa General Electrics)



Figura 2.4.8.1. Motor Jenbacher JMS-320 GS-B.L, tipo 3.

2.4.9 Transformador

La energía producida por los motogeneradores es entregada a una tensión de 400V y 50Hz. Como requisito para el transporte, es necesario elevar la tensión a 13.2 kV para así reducir la corriente circulante por el cable y evitar pérdidas por calor. Para realizar esta operación se instalarán transformadores elevadores de tensión con una relación 0.4/13.2 kV por cada unidad generadora.

Las tecnologías disponibles para elegir para el centro de transformación son las siguientes:

- Transformador con tanque de expansión: posee un tanque de expansión que almacena el aceite de refrigeración en contacto con la atmósfera. Esto puede disminuir la vida útil del equipo por estar expuesto a la humedad y riesgo

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

de oxidación. Es uno de los más económicos y aptos para usos urbanos, industriales, etc.

- Transformador hermético de llenado integral: tiene menor tamaño que el anterior al no tener un tanque de expansión y requieren mantenimiento más simple.
- Transformador seco: no utiliza aceite como medio de refrigeración. En su lugar tiene una resina que cubre a las bobinas. Es el más costoso de los tres tipos de transformadores, pero tiene como ventaja que es mucho más pequeño, no posee riesgo de incendio y no requiere mantenimiento posterior. Se utiliza generalmente en interiores o en ubicaciones con altos requerimientos de seguridad.
- Transformador rural: son pequeños y aptos para zonas rurales de baja potencia. Este tipo de transformador es poco confiable para el uso requerido y no posee la potencia necesaria para funcionar en una usina generadora. Por lo tanto, se descarta esta tecnología.

Se pondrá factor determinante ser apto para grandes potencias (mayores a 500kVA) para poder abastecer el requisito de transformación por unidad motogeneradora. Por este motivo, el transformador rural no es adecuado por tener pequeñas capacidades (hasta 63 kVA) además de no ser lo suficientemente confiable para el uso en una usina eléctrica. Como referencia, la planta actual tiene en funcionamiento 6 unidades de motogeneradores de 1,966 MW y asociado a cada uno de ellos, transformadores de 2,500 kVA

Los principales factores deseables para la elección de esta tecnología, además de los requerimientos de potencia, recaen en el costo y la confiabilidad. Las fallas más comunes surgen por problemas en la refrigeración del equipo: aquellos más económicos tienen un tanque de expansión que está en contacto con la atmósfera. Esto último puede conllevar a filtraciones en la bomba de aceite debidas a causas ambientales, como humedad o corrosión, y producir un bajo intercambio de calor y aumentar el riesgo de explosión.

Los transformadores deben incluir equipos de protección para salvaguardar el equipo frente sobrecargas o cortocircuitos: relé buchholz.

A continuación, se muestra la matriz de selección de tecnología según los factores no determinantes puntuados en forma objetiva según sus características técnicas.

		Transformador
--	--	---------------

Factores no determinantes	Peso relativo	Con tanque de expansión		Hermético de llenado integral		Seco	
		Puntaje	Total	Puntaje	Total	Puntaje	Total
Confiabilidad	45	7	385	8	440	9	495
Inversión inicial	35	9	270	8	240	4	120
Mantenimiento	20	7	105	8	120	9	135
	100		770		800		725

Tabla 2.4.9.1. Matriz de ponderación para elección de transformador.

El de mayor puntaje resultó ser el transformador hermético de llenado integral. Los rendimientos de los transformadores rondan al 99%. En el balance de requerimientos se dimensiona la potencia necesaria para este equipo. En Argentina se comercializan marcas como FOHAMA, Tadeo Zcerweny, ARTRANS, entre otras. Al ser este un transformador hermético (sin tanque de expansión) no tiene intercambio de aire con el exterior lo que impide el ingreso de humedad y aumentando así su vida útil.

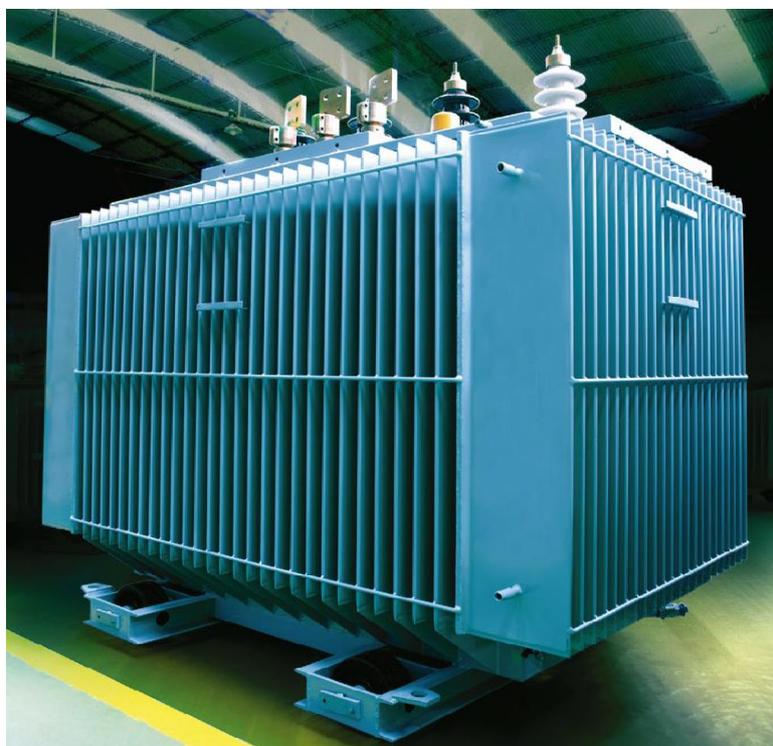


Figura 2.4.9.2. Transformador de llenado integral Tadeo Zcerweny.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se toma como referencia el catálogo de transformadores de llenado integral ARTRANS que para operación a 13,2 kV tiene la siguiente oferta de potencias:

FABRICANTE	ARTRANS																	
Tipo	T/D/13/	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Norma		IRAM 2250																
Medio Aislant/refrig. Marca-Tipo		ACEITE YPF 64																
Grupo de Conexión		Dy11																
Potencia Nominal [KVA]		63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Tensión Primaria Nominal [KV]		13,2																
Reg. prim. p/puntos conmutac. [%Un]		+5, +2,5, 0, -2,5, -5																
Tensión Secundaria en vacio [KV]		0.400/0.231																
Calentamiento adm. p/tamb=40 °C		s/IRAM CEA F 2099																
Arrollamientos [°C]		65																
Medio Aislante refrigerante [°C]		60																
Pérdida en Carga [W]		1350	1500	1750	2100	2500	3000	3500	4250	4900	6000	7250	8750	10500	13800	17000	21500	24800
Pérdida en Vacío [W]		270	300	350	420	500	600	700	850	920	1200	1450	1750	2100	2300	2700	3000	3300
Núcleo [Kg]		160	190	215	260	320	370	430	540	600	750	912	964	1100	1282	1332	1851	2141
Arrollamiento MT [Kg]		34	42	54	60	66	78	97	108	130	160	194	236	254	292	383	404	471
Arrollamiento BT [Kg]		24	30	36	37	44	52	64	74	90	100	124	156	190	191	216	277	818
Núcleo y Bobinados [Kg]		218	262	305	357	430	500	591	722	820	101	123	135	1544	2088	2281	3011	3993
Cuba y Accesorios [Kg]		180	200	210	245	300	350	400	450	490	520	560	660	780	932	1199	1440	1484
Medio Aislante Refrigerante [Lts]		120	125	135	140	173	200	230	290	310	380	460	490	600	813	841	1052	1158
Total del transformador [Kg]		518	587	650	742	903	1050	1221	1462	1620	1910	2250	2506	2924	3834	4321	5503	6635
Material de los arrollamientos		Cobre																

Figura 2.4.9.3. Transformador de llenado integral ARTRANS catálogo.

Por el cálculo estimado de motogenerador Jenbacher J-320 seleccionado de 1,100 MW, según folleto el alternador está clasificado para 1475 kVA (considerando un factor de potencia de aproximadamente 0,75). Por este motivo, al tener un transformador por unidad motogeneradora, se elige el transformador comercial inmediato superior de 1600 kVA.

2.4.10 Celdas

Para la evacuación de energía desde la nueva central hasta el electroducto existente, se deberán usar celdas de seccionamiento, maniobra y protección, las cuales proveen de los elementos necesarios para aislar fallas de sobrecarga o cortocircuito, seccionamiento para corte de suministro y maniobra. Se usará una celda por transformador. Estimando una corriente por cable de 52,5 A, según:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

$$\frac{1,1 \text{ MW}}{1,73 \times 13,2 \text{ kV}} \approx 50 \text{ A} \quad (2.4.10.1)$$

Se propone utilizar un tipo de celda comercial compacta marca Schneider RM6 con aislación a gas de corriente admisible de hasta 200 A.



Figura 2.4.10.1. Celda Schneider RM6.

2.4.11 Electroducto

Para vincular la salida de las celdas con el medidor que interconecta a la subestación Rotonda se utilizará 1 km de cable subterráneo siguiendo la traza mostrada en la sección de Microlocalización. Estimando una corriente necesaria según el cálculo de 5 MW a generar para RenovAr y un aproximado de 2,4 MW para MATER, como se verá más adelante.

$$\frac{7,4 \text{ MW}}{1,73 \times 13,2 \text{ kV}} \approx 324 \text{ A} \quad (2.4.11.1)$$

Aplicando un factor por cable enterrado (0.97) y otro por estar en suelo húmedo (0.85) se llega a una corriente de dimensionado según

$$I = \frac{323 \text{ A}}{0,97 \times 0,85} = 393 \text{ A} \quad (2.4.11.2)$$

Se puede tomar el cable comercial del catálogo de cables de media tensión PRYSMIAN, según:

Cable Retenax CU 13,2 kV								
Datos Eléctricos								
Sección nominal	Corriente admisible para cables en aire (unipolares)	Corriente admisible para cables en aire (tripolares)	Corriente admisible para cables enterrados (unipolares)	Corriente admisible para cables enterrados (tripolares)	Resistencia a 90°C y 50 Hz	Reactancia a 50 Hz (unipolares)	Reactancia a 50 Hz (tripolares)	
mm ²	A	A	A	A	ohm/km	ohm/km	ohm/km	
25	175	135	165	145	0,926	0,245	0,132	
35	205	155	195	170	0,668	0,235	0,122	
50	245	190	230	200	0,493	0,226	0,116	
70	305	230	280	240	0,341	0,216	0,110	
95	370	280	335	290	0,246	0,206	0,101	
120	425	320	380	330	0,195	0,200	0,104	
150	475	360	420	365	0,158	0,195	0,0976	
185	545	415	470	410	0,126	0,189	0,0946	
240	640	485	540	475	0,0961	0,182	0,0911	
300	730	550	610	535	0,0766	0,176	0,0883	
400	835	640	685	615	0,0599	0,171	0,0853	
500	940	-	755	-	0,0466	0,165	-	

Figura 2.4.11.1. Catálogo de cables de media tensión Retenax.

Cable Retenax Cu de 185 mm², que al estar enterrado deberá contar con protección mecánica. La marca ofrece cables con armadura metálica compuesta por flejes de acero galvanizado.

Se estiman las pérdidas por efecto Joule para la corriente máxima calculada para entregar 7,4 MW según:

$$P_{Joule} = 3 \times R_{cable} \times I^2 \quad (2.4.11.3)$$

Donde P_{Joule} representa la pérdida en Watts, R_{cable} es la resistencia propia del cable e I la corriente circulante. En este caso, según el cable elegido se tiene una resistencia de 0,126 Ω en 1 km totalizando una pérdida de 0,04 MW que representa menos de un 0,5% del total producido. Los medidores de CAMESSA se encuentran en el mismo predio de la usina, a partir de aquí, la energía es facturada.

En cuanto a la conexión existente, el trazado tiene una longitud aproximada de 7 km siguiendo la línea que cruza el Río Reconquista y Arroyo Güemes, Au Camino del Buen Ayre y la Ruta Nacional N° 8 según:



Figura 2.4.11.2. Trazado del electroducto hasta subestación Rotonda, propiedad de EDENOR.

El electroducto está conformado por cuatro circuitos en cuádruple terna de 13,2 kV de cable subterráneo XLPE de Al 185 mm² pantalla de Cu 50 mm², con capacidad para transportar una corriente de 218,5 A cada uno (ENRE, 2012). Actualmente, casi el 50% de capacidad del electroducto es utilizado por la planta en funcionamiento. Con la corriente calculada con anterioridad, es posible inyectar la energía de la nueva planta utilizando solo 2 de las cuatro ternas de cables enterradas.

Respecto a la subestación Rotonda, al momento de la aprobación de la solicitud de acceso en 2012 para la central en funcionamiento, se pactó la instalación de un tablero adicional con nueve celdas de media tensión, con salida mediante una doble terna a los terminales del arrollamiento secundario de los DOS transformadores existentes de 40 MVA y de relación 132/13,2 kV. En el año 2017 se realizó la ampliación de esta Subestación de 132/13,2 kV reemplazando los dos transformadores de 40 MVA por dos transformadores de 80 MVA, duplicando así su capacidad disponible (EDENOR, 2017).

2.4.12 Antorcha

Debido al exceso de biogás captado se precisa de una antorcha, cuyo objetivo es quemar el metano del biogás para evitar mayores daños al medio ambiente. Existen dos tipos de antorchas. Por un lado se encuentran las antorchas abiertas y por el otro las cerradas.



Figura 2.4.12.1. A la izquierda antorcha abierta y a la derecha antorcha cerrada (fuente: EPA).

Las antorchas abiertas constan de tres partes: una tubería vertical larga, un tipo de quemador y una cubierta de llama. La combustión se realiza con el aire atmosférico, por lo que las mezclas son pobres llevando a combustiones incompletas. Sin embargo, de estar bien diseñadas, su eficiencia puede llegar a ser del 98% en el mejor de los casos, siendo a la vez mucho más pequeñas que las antorchas cerradas. Respecto a su costo, estas son más baratas, tanto en la etapa de instalación como en la etapa de operación. Su desventaja es la imposibilidad de regular el flujo de entrada, es decir, no cuenta con flexibilidad para adaptarse a distintos flujos.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Por su parte, las antorchas cerradas que están diseñadas y operadas adecuadamente pueden lograr eficiencias de quemado de 99 por ciento o más. Una de las desventajas de estas frente a las abiertas es que es más costoso de instalar y operar que una antorcha abierta. La diferencia de las abiertas dado que tanto el flujo del gas a tratar como el del aire son controlados. Las antorchas cerradas son más utilizadas que las antorchas abiertas por dos razones, la primera es que permiten ocultar la llama de la antorcha, lo que minimiza el impacto visual y segundo es más fácil realizar muestreos para sondear la efectividad de la combustión (Conestoga – Rovers, 2010).

Actualmente, los diseños de las antorchas incluyen un piloto automático, un sistema de inicio de la ignición eléctrico y un sistema de provisión de combustible secundario en caso de que las características energéticas del gas a tratar lo requieran. (González, J., 2014).

El flujo que debe ser considerado para el dimensionamiento de la antorcha es del total captado. Esto se debe a que debe contarse con la seguridad de poder quemar la totalidad del flujo por cualquier imprevisto que impida la generación de energía. Esto implica altísimos costos, dado que se dimensiona la capacidad de la antorcha para un flujo que capaz no ocurra.

Los costos se estiman cada $1000 \text{ m}^3/\text{h}$, ya que esta es la dimensión de una antorcha cerrada. Mientras que en el proyecto se presentan $11000 \text{ m}^3/\text{h}$ en el máximo, de exceso existen $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ en el pico. Se dimensiona para $3600 \text{ m}^3/\text{h}$, en caso de un 20% de imprevistos como tope máximo de exceso. Es decir los costos se estiman para $4000 \text{ m}^3/\text{h}$ ya que al calcularlo para un número de antorcha inferior, el riesgo de no poder quemar el exceso está latente en todo momento durante la generación máxima de exceso de biogás.

2.5 BALANCE DE LÍNEA

2.5.1 RenovAr

Para realizar el balance de línea empezamos desde el valor necesario para entrar a RenovAr, siendo este de 5MW. Luego, a partir de dicho valor y conociendo el rendimiento de los motogeneradores (en función del caudal que llega a la entrada y la

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

potencia generada) se llega a un valor de m³ que la planta debe abastecer a lo largo del año para poder cumplir con la producción demandada.

Una vez conocido dicho caudal, se tienen en cuenta las pérdidas de caudal que ocurren a lo largo de la planta de pretratamiento (que si bien los valores son insignificantes se deben tener en cuenta) y así se llega al caudal que debe ingresar a la planta. Dicho caudal es el que se debe recolectar anualmente desde los pozos de captación para poder cumplir con el contrato y así no incurrir en multas por incumplimiento.

Asimismo, también se considera una opción que sería la de vender aquello que se genera de biogás que no es posible vender a RenovAr por cuestiones que está limitado a 5 MW. Para dicho análisis partimos desde la producción estimada de biogás y a partir de esos valores vemos la capacidad de energía que podríamos generar en los próximos 10 años. Aquellos MW que se producen en exceso sería lo que se debería lograr vender en el MATER para que resulte más eficiente la generación.

Ambos análisis se encuentran adjuntos al trabajo para un mejor análisis, pero a continuación presentamos los parámetros principales:

RenovAr						
Equipo	Capacidad teórica	Unidad	Requerimiento	Unidad	Cantidad de máquinas	Ocupación
Soplador centrífugo	127020000	m ³ /año	110553780.8	m ³ /año	1	87.04%
Intercambiador de calor	3328800	m ³ /año	32084961.7	m ³ /año	10	96.39%
Separador de fase	3328800	m ³ /año	32084961.7	m ³ /año	10	96.39%
Sopladores secundarios	35916000	m ³ /año	32020823.86	m ³ /año	1	89.15%
Filtro de carbono	17520000	m ³ /año	32020823.86	m ³ /año	2	91.40%
Filtro de partículas	788400	m ³ /año	32012810.65	m ³ /año	41	99.14%
Generadores	25167	MWh/año	61794.00826	MWh/año	7	82.95%

Transformadores	9110.4	MWh/ año	61794.008 26	MWh/ año	7	85.64%
-----------------	--------	-------------	-----------------	-------------	---	--------

Tabla 2.5.1.1. Requerimiento de máquinas para RenovAr.

Observar además que, a diferencia de las demás maquinarias, el soplador está dimensionado para el total de caudal de biogás a extraer del relleno y no del utilizado por la planta de RenovAr.

La ocupación de las maquinarias no puede ser considerada cuello de botella, dado que la principal limitante del proyecto es la disponibilidad de recurso, es decir, el biogás. Como puede notarse en el balanceo de línea, según la ocupación de los procesos se destaca el filtro de partículas. Sin embargo, habría que tener en consideración que el cuello de botella debería ser aquel proceso que requiera la máxima inversión. Por esta razón, se consideró que la etapa de generación es la más importante, y por ello se decide realizar una inversión mayor para contar con una reserva fría, asegurar siempre la disponibilidad de máquinas y evitar los riesgos de sanciones. Por lo tanto, a los 7 motogeneradores, se le adiciona uno más para la reserva fría, y se obtiene un total de 8 motogeneradores.

2.5.2 MATER

Una vez que se define la cantidad de biogás utilizada para licitar 5MW en el RenovAr, se puede analizar la factibilidad de realizar contratos en el MATER.

Como se vio en la sección de Estudio de Mercado, los contratos son por lo general de pocos MW. Recordando las características firmadas a fecha de marzo de 2019, del total de 153 GUH que firmaron contrato a través del MATER, solo 8 GUH han realizado contratos con MW mayores a 5 MW. Sin embargo, los precios de las compras conjuntas se espera que aumenten, por lo que la cantidad de demandantes probablemente aumente. Dicho esto, se propone utilizar el excedente de biogás para generar energía para entrar al MATER.

Sobre el dimensionamiento de la captación no se realizan cambios (es decir pozos, tuberías colectoras, tubería perimetral, demister y primer soplador), dado que la captación se dimensiona para quitar todo el biogás del relleno. Mientras, para los equipos de pretratamiento solo basta con realizar los nuevos requerimientos, dado que la instalación

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

de la planta de RenovAr debe ser exclusiva para ella y no puede compartir instalaciones con otro proyecto.

Una vez conocido el recurso disponible luego de asegurar los 5 MW para el plan RenovAr, se obtienen los MW disponibles para ofrecen en el MATER realizando el camino inverso en el balanceo de línea para realizar un contrato de 10 años. Realizando el balance correspondiente, se estipula que es posible ofrecer un máximo de 2,4 MW por el período propuesto, luego de considerar los consumos de la planta. Sin embargo, esta cantidad es posible ofrecer a partir de inicios de 2022, año en el cual la red de tuberías está completamente instalada y la captación de gas es suficiente para ofrecer una cantidad de energía estable. De todas formas, este número se ve afectado por el contrato que sea posible realizar.

Siguiendo la misma metodología de para los requerimientos de cada máquina, se presenta a continuación los requerimientos de cada una de ellas:

MATER						
Equipo	Capacidad teórica	Unidad	Requerimiento	Unidad	Cantidad de máquinas	Ocupación
Intercambiador de calor	3328800	m3/año	12388631.97	m3/año	4	93.04%
Separador de fase	3328800	m3/año	12388631.97	m3/año	4	93.04%
Sopladores secundarios	35916000	m3/año	12376243.34	m3/año	1	34.46%
Filtro de carbono	17520000	m3/año	12376243.34	m3/año	1	70.65%
Filtro de partículas	788400	m3/año	10497529.9	m3/año	14	95.20%
Generadores	25167	MWh/año	23883.76632	MWh/año	3	64.12%
Transformadores	9110.4	MWh/año	23644.92866	MWh/año	3	65.54%

Tabla 2.5.2.1. Requerimiento de máquinas para MATER

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Cabe mencionar, que en caso de realizar el MATER, la reserva fría sería el mismo motogenerador que se mencionó en el RenovAr, por lo que sólo debería invertirse en 3 motogeneradores.

2.6 LAYOUT

Una vez determinado el número de máquinas necesario para el proceso, pasamos al armado del layout óptimo para la planta de pretratamiento. Como mencionamos previamente, dicha planta es el lugar en donde se produce la adecuación del gas para que esté listo para su valorización al quemarse para generar energía eléctrica. Basándonos en lo que es el diseño de la planta que hoy en día utilizan para el Módulo C, se llegó al siguiente layout:

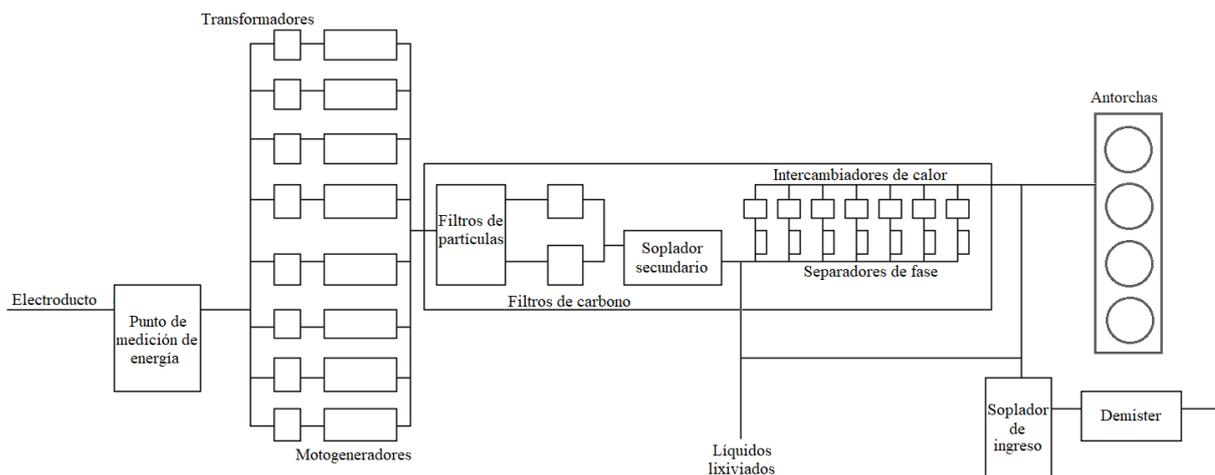


Figura 2.6.1. Layout de la planta de pretratamiento. Elaboración propia.

2.7 PERSONAL DE PLANTA

Un aspecto importante para considerar es la mano de obra directa y el personal administrativo que se requiere para llevar adelante el proyecto.

La mano de obra directa es la encargada de mantener la planta en operación y se distribuye en las distintas etapas del proceso productivo.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En la etapa de extracción, la mano de obra se limita a tres operarios de Mantenimiento de Red y Captación cuya función consiste en controlar la composición del biogás extraído y regular las válvulas de cada subestación para que dicha composición cumpla con los estándares. En caso de existir alguna falla, este control permite detectar la zona del problema. Cada operario realiza el recorrido entre las distintas subestaciones con las camionetas mencionadas en el estudio de ingeniería, que se deberán considerar a la hora de calcular los costos.

Además, se requiere un Jefe de Captación, Tratamiento y Suministro de Biogás, que también estará involucrado en la etapa de pretratamiento. A su vez, en esta segunda fase, se necesitarán dos operarios Especialistas Mecánicos y dos operarios Especialistas Eléctricos para asistir a todos los equipos involucrados.

Finalmente, en la tercera etapa correspondiente a la generación, se requerirá un operario Especialista Mecánico y dos operarios Especialistas Eléctricos. Es importante supervisar el estado de los motogeneradores de forma permanente, para asegurar que funcionen correctamente, y en caso de que ocurra una falla, poder detectarla a tiempo y realizar las maniobras correspondientes para corregirla. Además, es importante que se lleven a cabo los mantenimientos programados y preventivos. En la zona de las celdas de transformación debe haber dos operarios Especialistas Eléctricos encargados de controlar que todo funcione en condiciones normales.

También, será necesario un Responsable de Planta de Generación de Energía Eléctrica, y debido a la naturaleza de la actividad, un Responsable de Sistema de Gestión Ambiental (SGA), un Responsable de Calidad y Ambiente, y un Responsable de Seguridad y Salud Ocupacional.

En cuanto al personal administrativo, se incluye un Gerente General, un Administrador de Recursos Humanos, una Oficina de Administración y Compras compuesto por dos empleados.

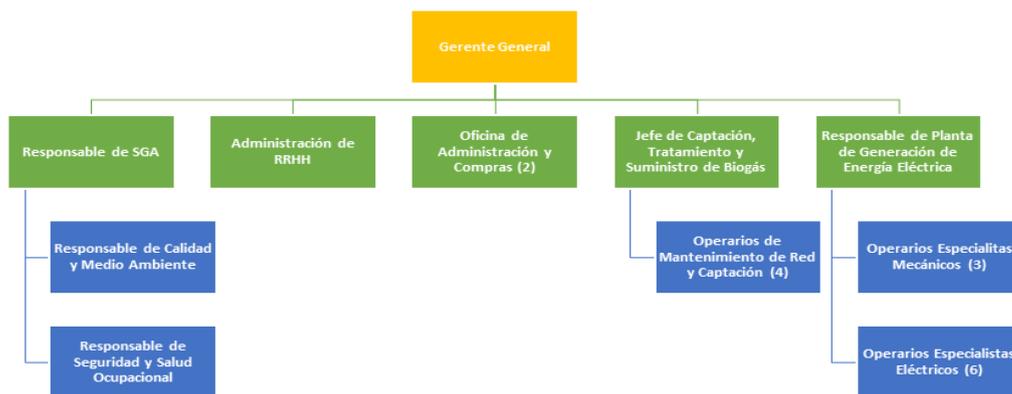


Figura 2.7.1. Organigrama de la estructura de la empresa.

Cabe mencionar que parte del personal administrativo de la planta actual se encargará de atender a las dos plantas en simultáneo, entre ellos, el Gerente de Planta, el Responsable de SGA, el Administrador de RRHH, la Oficina de Administración y Compras, y el Responsable de Salud y Seguridad Ocupacional. Se espera que durante los primeros años del proyecto, se aboquen más a la gestión de la nueva planta, y una vez que ésta entre en régimen, se repartan equitativamente en ambas hasta que la planta actual deje de funcionar, y pasen a concentrarse en la nueva, únicamente. Por lo tanto, en el próximo capítulo, se explicará cómo se prorratean los sueldos y las cargas sociales del personal según el pasar de los años.

2.8 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN

A la hora de analizar la implementación del proyecto, se debe tener en cuenta que la implementación de este se va realizando a medida que avanza la disposición de los residuos en el relleno. En una primera instancia, una vez que se empezó a llenar, se cubre una primera parte, generalmente siendo la proporción de tamaño con respecto al total del relleno ligeramente menor a un 25% del mismo. En paralelo a la instalación de la red, se comienza la adecuación del terreno tanto para la instalación de la usina como para la ubicación de las subestaciones desde donde se continúa el transporte del biogás captado. Al finalizar la adecuación del terreno se debe construir la usina. Dicha construcción se estima en aproximadamente 7 meses, período en el cual se debe también realizar la instalación de los cables para llegar al electroducto una vez generando energía.

Una vez cumplido el año aproximadamente se debe proceder a una segunda instalación de las redes de captación, cubriendo aproximadamente el 50% del terreno para

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

luego hacia fines del segundo año del proyecto lograr extender la red hasta el 100% del área correspondiente. Todo esto se puede ver representado en el siguiente diagrama.

Nombre de la tarea	Comienzo	Fin	Cronograma									
			01/20	02/20	03/20	04/20	05/20	06/20	07/20	08/20	09/20	10/20
Red de pozos 1	01/20	03/20	■	■	■							
Red de pozos 2	01/21	03/21										
Red de pozos 3												
Adecuación de terreno	04/20	05/20		■	■							
Construcción de usina	06/20	12/20				■	■	■	■	■	■	■
Tendido eléctrico	08/20	10/20						■	■	■		
Nombre de la tarea	Cronograma											
	11/20	12/20	01/21	02/21	03/21	04/21	05/21	06/21	07/21	08/21	09/21	10/21
Red de pozos 1												
Red de pozos 2	■	■	■									
Red de pozos 3									■	■	■	■
Adecuación de terreno												
Construcción de usina												
Tendido eléctrico												

Figura 2.8.1. Cronograma de construcción de planta.

Se debe notar que a fines del 2020 y comienzos del 2021 se termina de construir la usina y la segunda fase de la red de captación. Esto permite estimar un inicio de producción de energía a principios de 2021, para el cual se cuenta con dos meses completos de período de prueba, pudiéndose.

Luego de pasar la mitad del 2021, se comienza a instalar la red de captación faltante. Esto se debe al tiempo que se tarda en completar el relleno. Es decir, la proyección de basura indica que se podrá comenzar a instalar la última fase a mediados del 2021. Luego, en el 2022 se comienza a producir para el mercado a término de energías renovables.

2.9 MARCO LEGAL

Existe un vasto número de leyes a las que se les debe prestar especial atención. Desde las leyes de seguridad e higiene en el caso de los trabajadores, sobre las cuales se respetarán todos los detalles que la misma solicite como las leyes referentes al medio ambiente.

En la Constitución Nacional en su última reforma se hace referencia a 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. Todo daño ambiental obliga a recomponer los daños, los cual no solo afecta a el proyecto sino también a la instalación del módulo del CEAMSE. Las autoridades dan la protección para preservar dicho patrimonio natural y de diversidad biológica.

Argentina forma parte de varios tratados donde se reconoce que la protección y el mejoramiento del medio humano es una cuestión fundamental que afecta al bienestar de los pueblos y al desarrollo económico del mundo entero y por ello se establecen compromisos concretos que cada uno de los Estados Partes deben hacer efectivos. Se pueden nombrar una gran cantidad de leyes que limitan al Estado como también a las empresas para el cuidado del medio ambiente. Como este proyecto no afecta suelos, el agua contaminada es tratada y en términos de aire cumple y hasta colabora con las leyes de protección ambiental, el proyecto no se ve limitado en este aspecto, más allá del control de los gases que se emiten.

Legalmente lo que se debe tomar en cuenta con especial atención es el contrato de RenovAr, al cual se apunta como principal objetivo para licitar y con el que se debe cumplir con sus cláusulas asegurando el abastecimiento de la energía pactada.

El Reglamentación de Líneas Aéreas Exteriores de Media Tensión y Alta Tensión, dictada por la Asociación Electrotécnica Argentina (AEA), es de importancia para este proyecto, aunque se utilicen en su gran mayoría las líneas ya existentes de la empresa Tecsan; ya que en estas se establecen requisitos a cumplir por las líneas aéreas exteriores, asegurando condiciones de seguridad.

2.10 CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Es necesario analizar el impacto ambiental del proyecto tanto en su etapa de construcción como de operación. En ambas etapas se puede evaluar el impacto en el agua, aire, suelo y sobre la flora y la fauna.

La construcción de la planta debe realizarse donde menor impacto se genere sobre el medioambiente. En primer lugar, se debe mantener, en lo posible, alejado de los cuerpos de agua que es donde mayor fauna y flora se puede encontrar. El Complejo Ambiental limita con el río reconquista, además por el circulan una serie de arroyos y existe una laguna por ende el control debe ser estricto y con gran precaución. Como allí es donde se construye el módulo, existen varios chequeos y controles de las distintas napas verificando el nivel de contaminación. A su vez el impacto con respecto a la erosión topográfica y los efectos en la fauna y flora no son despreciables por parte de la construcción del módulo. De todos modos, el proyecto no genera impacto en estos aspectos debido a que el módulo con los residuos por parte del CEAMSE se crea de todos modos y la mayor parte de dichos controles y verificaciones medioambientales corre por su parte, mientras que las restantes necesarias ya la empresa Tecsan las tiene a disposición y se podrían seguir utilizando para verificación en caso de una fuga de agua contaminado a los flujos subterráneos, por ejemplo.

En referencia al líquido lixiviado cuya descripción se encuentra en el anexo, entra en las afecciones del agua ya que debe ser tratado y retirado para que el mismo no contamine las napas subterráneas ni el suelo. Para prevenir que el agua bloquee los ductos, en los puntos bajos del sistema colector se usan trampas o cárcamos de condensado. Este líquido debe ser transportado a la pileta de tratamiento de lixiviado, encargándose de esto último el CEAMSE. Actualmente, dentro del complejo, ya se encuentra instalada una planta de tratamiento de lixiviados con una capacidad de dos mil metros cúbicos por día, mientras que su capacidad es de 123000 metros cúbicos mensuales (Gonçalves Mendes, 2016). Dentro de las obligaciones del proyecto es la de realizar las conexiones necesarias entre los pozos y las etapas del proceso que generen condensados con la planta de tratamiento de lixiviados. Por este motivo debe proponerse una extracción controlada del lixiviado la cual mejore la eficiencia de captación de biogás y por lo tanto productividad del sistema. Este líquido contiene metales pesados, patógenos y otros componentes contaminantes y

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

es por esto que el mismo se trata para evitar problemas de contaminación en los acuíferos cercanos o en la tierra.

Finalmente, el factor con mayor repercusión en el proyecto es el aire. A causa de la descomposición de residuos como ya se mencionó atrás en el trabajo, se emiten varios gases, pero principalmente dióxido de carbono y metano. Este metano es 21 veces más contaminante que el CO₂, por ende, al tratarlo y quemar todo lo que se captura, se trae un resultado positivo al medio ambiente, considerando al metano un gas con influencia considerable en el efecto invernadero. A mayor eficiencia en la captación y en la quema de dicho gas para la obtención de energía, resulta mejor para el ecosistema. Los gases que se han medido en la central del Buen Ayre fueron CO, NO_x, SO₂, NMOCs, CH₄, O₂ y CO₂. Dando muestra de la importancia proporcional y de afección de cada uno, solo vale hacer foco en el CO₂, CH₄ y NO_x; este último siendo causado casi en su totalidad en el proceso de combustión dentro del motor, el cual afecta no solo al medio, sino que también es tóxico para las personas, por ende, se debe controlar en sus emisiones más allá que las dadas por el manual del motor sean bajas y aceptables por las medidas medio ambientales. De todos modos, el balance de contaminación a causa de este proceso termina resultando más que satisfactoria ya que reduce de manera considerable los GEI (gases de efecto invernadero) dando un beneficio considerable. Además, dicha importancia se ve reflejada en los bonos de carbono, quienes hoy en día no cobran gran relevancia, pero hace unos años generaban una buena paga para las industrias que quemaban dicho gas en beneficio del medio ambiente.

Se puede estimar la cantidad de metano recolectado y destruido en los distintos años del proyecto. Conociendo la cantidad de biogás recolectado y sabiendo que el mismo se dirige a la planta de generación de electricidad o a la antorcha, se conoce el volumen que es destruido de metano según (EPA, 2013):

$$CH_4 \text{ (colectado y destruido)} = \text{Colección de gas } \left(\frac{m^3}{\text{año}}\right) \times \% CH_4 \text{ (comp. del biogás)} \quad (2.10.1)$$

Siendo el total de metano destruido en $\frac{m^3}{\text{año}}$:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
35295158	55276890	53109453	51027001	49026204	47103859	45256890	43482342	41777375	40139261	38565378

Tabla 2.10.1. Proyección de metano destruido.

Una vez que se desee cerrar las operaciones en el relleno, se deben retirar los equipos, es decir, no solo la planta sino las tuberías, equipo de subestaciones, etc. La cobertura debe ser la adecuada. El relleno debe quedar con la correspondiente cobertura vegetal.

3 CAPÍTULO ECONÓMICO Y FINANCIERO

A partir de las proyecciones de volumen y precio de venta elaboradas en el estudio de mercado, y de las conclusiones obtenidas en el estudio de ingeniería, vinculadas a la localización de las instalaciones, el lay-out de la planta, el plan de producción, y el nivel y cronograma de inversiones en cantidades a lo largo de los años que conforman el proyecto, se procede a realizar el estudio económico-financiero.

Para el cálculo de ingresos en una primera aproximación se tomará una propuesta que fija el precio del MWh por RenovAr en 129 USD y un contrato MATER a partir del segundo año por un precio por MWh de 71 USD. En el primer caso, según establecido en las cláusulas del contrato RenovAr, el precio base se ve afectado por factores de incentivo y de ajuste.

En este estudio se presenta la proyección del flujo de fondos, la estructura de capital y el valor actual del proyecto de prefactibilidad a los precios dados.

3.1 COSTOS

3.1.1 Sistema de costeo

Dado que este proyecto no incluye inventarios, tanto el sistema de costeo por absorción como el directo, reportan utilidades iguales. En nuestro caso, el sistema de costeo empleado para valorar la producción del proyecto es el sistema de costeo directo.

A lo largo de este apartado se detallan los costos asociados al proyecto. Cabe destacar que como las inversiones se realizan en dólares, pero el flujo de fondos se analiza en pesos, se debe ajustar el monto de la inversión a la proyección del tipo de cambio en el año en el cual se realiza. Sin embargo, para aquellos costos que se realizan mes a mes como mantenimiento u otros gastos operativos, que no se realizan en dólares, se debe ajustar por inflación.

3.1.2 Inversiones

En este inciso se realizará una explicación de todas aquellas inversiones que se deben realizar para poder realizar el proyecto. Dichas inversiones pueden ser realizadas en

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

distintos momentos a lo largo del proyecto, algunas dependiendo de cuando sea necesario hacerlo o de manera tal que se distribuyan los gastos de la manera más económica posible. Dentro de estas inversiones, algunas son necesarias para la puesta en punto del terreno, para la compra de equipos e instrumentación necesarios, o incluso en mantenimiento para el óptimo funcionamiento de la planta.

A la hora de analizar la rentabilidad del proyecto, como mencionamos a lo largo del trabajo tenemos como objetivo básico la generación de 5 MW dentro del programa RenovAr durante los 10 años. Sin embargo, a modo de complemento, planteamos la entrada al MATER con un contrato de 9 años debido a que el año 1 el exceso de biogás disponible es demasiado bajo. En este contrato, se debe lograr abastecer la cantidad establecida, por lo cual el valor de esos MW corresponde al máximo valor que se pueda abastecer con seguridad durante la duración de este, siendo este valor 2 MW. A continuación, se detallarán dichos costos y el año de inversión.

3.1.3 Inversiones en activos fijos

En primer lugar se divide las inversiones en activos fijos de acuerdo con los distintos tipos de costos. Como se puede observar en el siguiente gráfico, la mayor concentración de los costos se da en el sector de generación. Esto se debe a que en esta zona se encuentran los equipos más caros e importantes a la hora de generar energía. Luego pasamos a analizar en detalle los costos asociados a cada sector. Es importante destacar que los precios incluyen seguros y fletes asociados desde el origen.

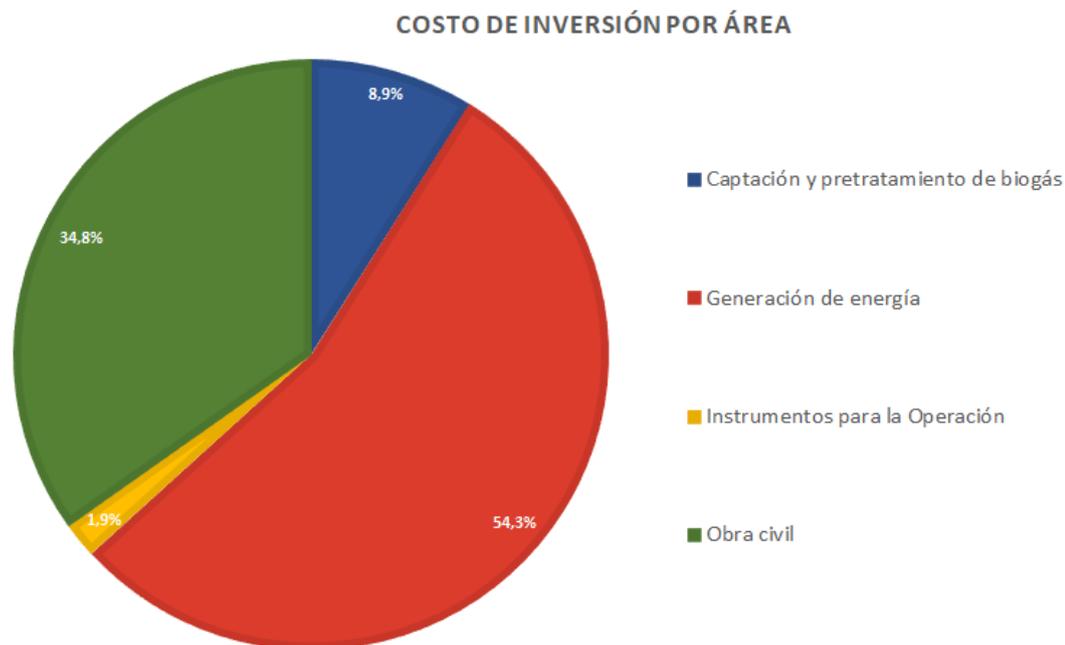


Figura 3.1.3.1. Porcentaje de inversión por sector.

En primera instancia, debemos tener en cuenta aquellas inversiones que se deben realizar en equipos necesarios tanto para la extracción como el transporte, el tratamiento y la generación en energía. Para ello se tendrán en cuenta aquellos equipos mencionados en la etapa de ingeniería. En las siguientes secciones se clasifican los equipos según el área de operación.

3.1.3.1 Captación y pretratamiento de biogás

Equipos	Detalle	Moneda	Precio unitario (USD)	Cantidad	Año de inversión
Demister	Captación y pretratamiento de biogás	USD	70.000	3	2020
Agua/glicol Chiller (RenovAr y MATER)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	1.200	4	2020
Filtro de carbono (columna de carbón activado) (RenovAr)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	48.000	2	2020
Filtro de carbono (columna de carbón activado) (MATER)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	48.000	1	2021

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Aislación filtro de carbono (RenovAr)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	13.000	2	2020
Aislación filtro de carbono (MATER esc. 1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	13.000	1	2021
Aislación filtro de carbono (MATER esc. 2.1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	13.000	2	2021
Intercambiador de calor (RenovAr)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	4.000	10	2020
Intercambiador de calor (MATER esc. 1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	4.000	4	2021
Intercambiador de calor (MATER esc. 2.1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	4.000	6	2021
Soplador Primario (RenovAr y MATER)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	35.000	1	2020
Separador de fase (RenovAr)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	28.000	10	2020
Separador de fase (MATER esc. 1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	28.000	4	2021
Separador de fase (MATER esc. 2.1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	28.000	6	2021
Soplador secundario (RenovAr)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	35.000	1	2020
Soplador secundario (MATER esc. 1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	35.000	1	2021
Soplador secundario (MATER esc. 2.1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	35.000	1	2021
Filtro de partículas (RenovAr)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	100	41	2020
Filtro de partículas (MATER esc. 1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	100	14	2021
Filtro de partículas (MATER esc. 2.1)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	100	23	2021
Materiales para tuberías (tubos, pozos, cabezales y red perimetral)	Captación y pretratamiento de biogás	USD	26.000	1	2020
Rodados	Captación y pretratamiento de biogás	USD	27.000	3	2020

Tabla 3.1.3.1.1. Inversiones en el área de captación y pretratamiento de biogás.

3.1.3.2 Generación de energía

Equipos	Detalle	Moneda	Precio unitario (USD)	Cantidad	Año de inversión
Motogeneradores (RenovAr)	Generación de energía	USD	380.000	8	2020
Motogeneradores (MATER esc. 1)	Generación de energía	USD	380.000	3	2021
Motogeneradores (MATER esc. 2.1)	Generación de energía	USD	380.000	4	2021
Transformadores (RenovAr)	Generación de energía	USD	30.000	8	2020
Transformadores (MATER esc. 1)	Generación de energía	USD	30.000	3	2021
Transformadores (MATER esc. 2.1)	Generación de energía	USD	30.000	4	2021
Materiales eléctricos (RenovAr)	Generación de energía	USD	1.882.000	1	2020
Materiales eléctricos adicionales (MATER)	Generación de energía	USD	560.000	1	2021
Permisos y colegiación	Generación de energía	USD	50.000	1	2020

Tabla 3.1.3.2.1. Inversiones en el área de generación de energía.

Dentro de los materiales eléctricos se tienen en cuenta los conductores, tableros, seccionadores, celdas, malla de puesta a tierra, electroducto, interruptores y transformadores auxiliares. Se debe realizar la inversión al inicio del proyecto dado que se dimensionan los equipos de esta manera. De realizarse los contratos en el MATER se muestran, para cada propuesta, la diferencia de costos respecto al precio mostrado en el RenovAr.

Considerando que la vida útil de la mayor parte de la maquinaria es de 10 años y que a partir del año 10 la generación de energía disminuye de manera notable, para fines prácticos dentro del flujo de fondo consideramos el cierre de planta en fines de 2030.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En caso de que esto ocurra, se tiene que pagar una indemnización a los empleados. Los costos de esta indemnización para aquellas personas que trabajaron por más de 5 años (como se asume que ocurre en este caso) es de los últimos 2 sueldos, multiplicados por un factor de 1,5 y un aviso con anticipación a los empleados de la situación.

3.1.3.3 Inversiones en obras civiles y puesta en marcha

A su vez es necesario realizar inversiones que se realizan previo a la puesta en funcionamiento de la planta. Esto se debe a que, en algunos casos, es necesario preparar el terreno o realizar pruebas de manera que se asegure el correcto funcionamiento de la planta.

Las obras civiles necesarias se detallan a continuación con sus costos:

Equipos	Detalle	Moneda	Precio unitario (USD)	Cantidad	Año de inversión
Electroducto	Obra civil	USD	3.000.000	1	2020
Sala de control	Obra civil	USD	66.000	1	2020
Pozos y red perimetral (tercerizado - primeras fases)	Obra civil	USD	430.000	2 fases	2020
Pozos y red perimetral (tercerizado - última fase)	Obra civil	USD	215.000	1 fase	2021
Subestaciones (tercerizado - primeras fases)	Obra civil	USD	18.000	2 fases	2020
Subestaciones (tercerizado - última fase)	Obra civil	USD	9.000	1 fase	2021
Sistema de captación de lixiviados	Obra civil	USD	20.000	1	2020
Antorcha	Obra civil	USD	242.500	4	2020

Tabla 3.1.3.3.1. Inversiones en el área de obra civil.

Los costos de obra del electroducto están compuestos por cables, tableros, celdas y protecciones necesarios para el transporte apropiado de la energía desde la sala de control hasta la subestación. Esta obra debe realizarse al inicio del proyecto.

La sala de control es el establecimiento donde se controla el rendimiento de los motogeneradores y demás equipos de la central de generación. Esta obra también debe

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario realizarse al inicio del proyecto. En la misma se contemplan las instalaciones para el personal, como vestuarios, baños, oficinas, comedor, entre otros.

Tanto la construcción e instalación de los pozos como la red perimetral y las subestaciones se tercerizan, siendo el precio detallado de los componentes y mano de obra incluidas, es decir “llave en mano”. Deben construirse en etapas distintas, a medida que el relleno esté disponible para realizar la construcción. Siguiendo el cronograma de construcción mencionado previamente en la etapa de ingeniería, se divide la instalación de estos en 3 fases distintas, que se darán a lo largo del año 2020 y finalizando en el 2021.

A su vez, consideramos gastos de puesta a punto de los operarios, considerando un aumento del 25% de los gastos de operación en los primeros 3 meses hasta que se normalice la producción. Este aumento en los gastos se relaciona con la utilización de los recursos, ya que hasta que se habitúan los operarios al ambiente de trabajo es más posible que se rompan algunos instrumentos o dispositivos. Esto quiere decir que a medida que el proyecto se va implementando los operarios van aumentando el know-how de cómo funcionan las cosas, ganando experiencia con el paso del tiempo.

El proceso de aprendizaje consta de dos etapas, la de introducción, durante la cual el individuo se familiariza con la secuencia de operaciones que debe realizar, y la complementaria en la cual el individuo por repetición adquiere las cualidades físicas y mentales coordinadas que le permiten mejorar su capacidad y habilidad para realizar la tarea, al mismo tiempo que disminuye el titubeo y el retraso de la operación.

En la etapa complementaria, se aplican las llamadas curvas de aprendizaje que muestran el fenómeno mencionado previamente. Dado que en este proyecto el proceso productivo posee un elevado nivel tecnológico, los tiempos de aprendizaje son menores, en comparación con aquellos procesos que dependen en gran medida de la mano de obra empleada.

También se mencionan los costos de inversión para la instalación de la antorcha, imprescindible para quemar el excedente de gas. Sus costos se encuentran descritos en la siguiente tabla. Cabe aclarar que en nuestro caso será de tipo antorcha de llama cerrada.

Trampa de condensado	10.000	[USD/unidad]
----------------------	--------	--------------

Cárcamos de condensado con bombeo	25.000	[USD/unidad]
Ingeniería y administración	7.500	[USD/pozo]
Antorchas de llama cerrada de 1000[m ³ /h]	200.000	[USD/unidad]

Tabla 3.1.3.3.2. Costos de instalaciones de antorcha.

Esto serían 242.5 mil dólares por cada 1000 m³/h, mientras que en el proyecto se presentan un excedente de 3600 m³/h en el máximo. Como ya se mencionó anteriormente por el 20% de imprevistos y variabilidad en la generación de biogás, se estima el valor como una instalación para 4000 m³/h. Entonces al ver estos valores se estima un precio de 970 mil dólares.

Además los costos de operación y mantenimiento, refiriéndose al control del funcionamiento, la limpieza y las piezas para las reparaciones pertinentes en caso de falla se estiman alrededor de un 5% del valor de la inversión. En este caso se estiman 10 mil dólares por cada uno de los 6 chequeos que se realizan anualmente como valor de costo por mantenimiento.

3.1.3.4 Instrumentación operativa

Equipos	Detalle	Moneda	Precio unitario (USD)	Cantidad	Año de inversión
Sistema de medición comercial	Instrumentos para la Operación	USD	12.000	1	2020
Equipos de instrumentación y control	Instrumentos para la Operación	USD	150.000	1	2020
Equipamiento y sistema de seguridad de sala de control	Instrumentos para la Operación	USD	171.000	1	2020

Tabla 3.1.3.4.1. Inversiones en el área de instrumentos para la operación.

Los sistemas de medición comercial incluyen los equipos exigidos por CAMMESA para la medición de energía eléctrica despachada y para la medición de energía consumida por los equipos auxiliares en la planta de pretratamiento. Esta segunda medición es importante ya que CAMMESA establece que aquellos equipos que trabajan en la generación de

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

energía deben estar autoabastecidos por la energía generada antes de ser enviada a la red. Consta principalmente de medidores electrónicos de energía, transformadores de medida y vínculos de comunicación. Los datos registrados en los medidores son recolectados en forma automática una vez al día. Tanto para la propuesta 1 como la 2 el equipo necesario es el mismo.

Para los equipos de instrumentación y control, se tienen en cuenta los instrumentos de medición que afectan a los siguientes equipos y variables respectivas:

- Sopladores: presión, temperatura, velocidad
- Calidad de biogás: medición de metano, oxígeno y dióxido de carbono
- Planta de pretratamiento: temperatura, presión y humedad relativa
- Usina: presión, temperatura y parámetros de operación
- Electricidad: potencia bruta generada por motor, potencia exportada a celdas, potencia de pérdida entre generadores y celdas de MT
- Equipo de medición portátil para mediciones en subestaciones de biogás y cabezales de pozo

Estas variables se visualizarán en la sala de control, en un total de 4 monitores para tener fácil acceso a cada una de ellas. En estos monitores también se tendrá acceso a las variables exigidas por CAMMESA. A su vez, en lo que respecta a los instrumentos en la subestación de energía, se los debe poder accionar de manera remota, para evitar cualquier tipo de inconveniente.

En muchas ocasiones se realizan pruebas periódicas en maquinaria especializada para ver que todo funcione correctamente, como mantenimiento preventivo en aquellas máquinas en donde no se puede dar el lujo de que dejen de funcionar ya que pararía todo el proceso o generarían una merma importante en la producción. Para ello, se establece un plan de mantenimiento para los activos fijos que se debe seguir paso a paso para asegurar el correcto funcionamiento de todos los equipos. Este mantenimiento con sus correspondientes máquinas fue detallado en la sección de ingeniería.

3.1.4 Costos de importación

Las máquinas que deben importarse son los demisters, sopladores, motogeneradores, los intercambiadores de calor, filtros de carbono y de partículas. Estos deberán pagar los costos de importación, dado que el precio acordado es bajo el incoterm CIF.

Sin embargo, por el artículo 14 de la ley 27191, están exentos de aranceles los equipos y repuestos destinados a la producción de energía renovable ("InfoLEG - Ministerio de Economía y Finanzas Públicas - Argentina", 2019). Esto aplica para los bienes de uso que no tengan disponibilidad nacional. En otras palabras, no están exentos los equipos importados que estén disponibles en la Argentina.

En nuestro caso, dada la selección de tecnologías, los equipos importados que deberán pagar costos de importación son: demister, filtros de carbono y partículas, intercambiador de calor, soplador primario y secundario.

Cada uno de estos equipos tiene una posición arancelaria distinta, por lo que le corresponden aranceles distintos a cada uno. Se pudo obtener información sólo sobre los costos de importación del soplador elegido. Los costos se exhiben en el anexo. Los aranceles sobre este se toman como referencia para los demás equipos. Los aranceles identificados son:

Concepto	Tasa
Arancel externo común	20%
Derecho de importación	20%
Tasa estadística	2,5%
Total	42,5%

Tabla 3.1.4.1. Costos de importación.

3.1.5 Amortizaciones

Un aspecto muy importante para considerar es la amortización de aquellas inversiones que se realizan a medida que avanza el proyecto. Al invertir en algún equipo o terreno, se debe tener en cuenta que con el pasar del tiempo pierde su valor en términos contables y se debe reflejar en el proyecto.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

A continuación, vamos a desarrollar el efecto de dichas amortizaciones en los activos en los que se debe invertir que mencionamos previamente. Se calcula mediante la siguiente igualdad:

$$Amortización = \frac{Valor\ original - Valor\ residual}{Vida\ útil} \quad (3.1.5.1)$$

En general, se acepta un valor residual nulo debido a la dificultad de revender el producto una vez finalizado el contrato, por lo que las amortizaciones mes a mes se calculan:

$$Amortización = \frac{Valor\ original}{Vida\ útil} \quad (3.1.5.2)$$

El período de amortización depende del bien amortizado. Para rodados se utiliza un período de 5 años, mientras que para máquinas y otros equipos se utilizan un total de 10 años. Para las construcciones se toman 50 años. A continuación, se detallan las inversiones con sus respectivas amortizaciones:

Año	2020	2021	2022-24	2025	2026-29	2030
Obras civiles	389.706.481	19.345.176	-	-	-	-
Máquinas y equipos (RenovAr)	399.555.350	-	-	-	-	-
Máquinas y equipos (MATER)	-	174.054.763	-	-	-	-64.181.552
Máquinas y equipos (MATER y RenovAr)	19.527.807	-	-	-	-	-
Rodados (primera inversión)	5.735.143	-	-	-	-	-
Instrumentación y Equipos de monitoreo (primera inversión)	23.577.809	-	-	-	-	-

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Instrumentación y Equipos de monitoreo (segunda inversión)				67.696.399		-
Rodados (segunda inversión)				11.417.120		-
Total	838.102.589	193.399.938	-	79.113.520	-	-

Tabla 3.1.5.1. Inversiones totales según el año que se deben realizar.

Detalle	VU	2021	2022- 2025	2026 - 2030
Amortización Obras civiles (2020)	50	7.794.130	7.794.130	7.794.130
Amortización Obras civiles (2021)	50	386.904	386.904	386.904
Amortización Máquinas y equipos (RenovAr)	10	39.955.535	39.955.535	39.955.535
Amortización Máquinas y equipos (MATER)	10		17.405.476	17.405.476
Amortización Máquinas y equipos (MATER y RenovAr)	10	1.952.781	1.952.781	1.952.781
Amortización Rodados (primera inversión)	5	1.147.029	1.147.029	
Amortización Rodados (segunda inversión)	5			2.283.424
Amortización Instrumentación y Equipos de monitoreo (primera inversión)	5	4.715.562	4.715.562	
Amortización Instrumentación y Equipos de monitoreo (segunda inversión)	5			13.539.280
Amortizaciones Totales		55.951.939	73.357.415	83.317.529

Tabla 3.1.5.2. Amortizaciones de las inversiones a lo largo de los años del proyecto.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Como se puede observar en las tablas, se tuvieron en cuenta todas las inversiones mencionadas, ubicadas en sus años correspondientes y su respectiva amortización con el transcurso de los años.

3.1.6 Cronograma de inversión

Como se puede observar en las tablas anteriores, algunas inversiones se realizan en el 2020 mientras que otras se realizan en 2021. La diferencia en año se debe a que en el 2020 se realizan todas aquellas inversiones necesarias para que la planta comience su producción. Eso incluye por ejemplo la preparación del terreno, la construcción de la planta y la instalación de los tubos. Además, se debe preparar la maquinaria para que, en el 2021, año en el cual comienza el contrato con RenovAr, todo se encuentre listo para llegar a los 5 MW.

De esa manera, con las inversiones realizadas en el 2020 alcanza para cubrir las necesidades de los próximos 10 años para dicho contrato. Sin embargo, a la hora de plantear la situación consideramos la posibilidad de ingresar al MATER con un contrato de 9 años, comenzando en 2022. Debido a esto, es necesario invertir en maquinaria para cubrir las necesidades. Por esta razón, en 2021 realizamos una nueva serie de inversiones para poder empezar a producir en 2022 la energía necesaria para cubrir el nuevo contrato.

Asimismo, en el año 2025 se debe hacer una inversión para RenovAr aquellos equipos que tengan una vida útil de 5 años. Estos son en esencia las camionetas para transporte y todo lo que involucra instrumentación tecnológica, para asegurar que el equipo utilizado en todo momento no se vuelva obsoleto y se genere algún problema como consecuencia.

3.1.7 Gastos de operación

A continuación, se detallan los gastos operativos asociados al funcionamiento de la empresa:

Detalle	Categoría	Costo ARS/mes	Frecuencia anual	Año de inicio
Repuestos (RenovAr)	Operación	475.000	2	2021
Solución glicol/agua (RenovAr)	Operación	138.000	1	2021

Insumos ferretería (RenovAr)	Operación	155.500	12	2021
Repuestos (MATER propuesta 1)	Operación	270.000	6	2022
Solución glicol/agua (MATER propuesta 1)	Operación	132.500	3	2022
Insumos ferretería (MATER propuesta 1)	Operación	81.500	12	2022
Extracción biogás (pozos, cabezales y red perimetral)	Operación	12.955.000	4	2021
Servicios de la central	Operación	30.000	1	2021

Tabla 3.1.7.1. Gastos operativos en el proyecto con la frecuencia de aplicación.

Dentro de los gastos de operación incluimos aquellos que se deben realizar de forma periódica a lo largo del año. No todos se realizan con la misma frecuencia por lo que dicha variable se incluyó en la tabla para entender cómo funciona.

También se deben tener en cuenta los consumos de agua, gas y otros servicios. Estos mismos se estiman a partir del consumo per cápita de agua (100 L/día) y gas (4 m³/día), entendiéndose que este consumo no se da en la totalidad en la planta.

3.1.8 Mantenimiento

Los gastos de mantenimiento preventivo son aquellos gastos que se realizan con una frecuencia establecida al inicio de la operación. Su objetivo es alargar la vida útil de los equipos. Según la importancia que tiene dicha maquinaria a la cual se le debe realizar el mantenimiento dentro del proceso, o la gravedad del problema que se podría causar en caso de una falla se determina la frecuencia. De acuerdo con estos factores, la frecuencia puede ser anual, semestral o mensual, siempre comenzando a contar desde el primer mes de funcionamiento. Las frecuencias detalladas en el cuadro siguiente corresponden a las prácticas llevadas a cabo normalmente en cada uno de esos equipos.

Detalle	Categoría	Costo ARS/mes	Frecuencia anual	Año de inicio
Soplador Primario (RenovAr y MATER)	Mantenimiento	75.500	3	2021

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Demister (RenovAr y MATER)	Mantenimiento	86.500	1	2021
Análisis de gases (RenovAr y MATER)	Mantenimiento	155.500	1	2021
Motogeneradores (RenovAr)	Mantenimiento	4.100.000	12	2021
Intercambiador de calor (RenovAr)	Mantenimiento	604.500	6	2021
Separador de fase (RenovAr)	Mantenimiento	135.000	3	2021
Soplador secundario (RenovAr)	Mantenimiento	75.500	3	2021
Filtro de carbono (RenovAr)	Mantenimiento	78.500	2	2021
Filtro de partículas (RenovAr)	Mantenimiento	17.000	4	2021
Transformadores (RenovAr)	Mantenimiento	648.000	3	2021
Motogeneradores (MATER propuesta 1)	Mantenimiento	4.450.000	12	2022
Intercambiador de calor (MATER propuesta 1)	Mantenimiento	712.500	6	2022
Separador de fase (MATER propuesta 1)	Mantenimiento	57.000	4	2022
Soplador secundario (MATER propuesta 1)	Mantenimiento	89.000	3	2022
Filtro de carbono (MATER propuesta 1)	Mantenimiento	24.000	2	2022
Filtro de partículas (MATER propuesta 1)	Mantenimiento	20.500	4	2022
Transformadores (MATER propuesta 1)	Mantenimiento	61.000	3	2022

Tabla 3.1.8.1. Mantenimiento, sus costos y su frecuencia.

3.2 PERSONAL

A continuación, se detalla el sueldo y cargas asociadas a cada uno de los empleados, todos estos a tiempo completo:

<i>Personal</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Salario bruto (ARS)</i>	<i>% Cargas patronales</i>	<i>Prorrrateo</i>	<i>Total anual</i>
<i>Gerente de Planta</i>	<i>Administración</i>	<i>1</i>	<i>300.000</i>	<i>25,50%</i>	<i>Si</i>	<i>4.894.500</i>
<i>Responsable de SGA</i>	<i>Administración</i>	<i>1</i>	<i>100.000</i>	<i>25,50%</i>	<i>Si</i>	<i>1.631.500</i>
<i>Administración de RRHH</i>	<i>Administración</i>	<i>1</i>	<i>100.000</i>	<i>25,50%</i>	<i>Si</i>	<i>1.631.500</i>
<i>Oficina de Administración y Compras</i>	<i>Administración</i>	<i>2</i>	<i>100.000</i>	<i>25,50%</i>	<i>Si</i>	<i>3.263.000</i>
<i>Responsable de Seguridad y Salud Ocupacional</i>	<i>Administración</i>	<i>1</i>	<i>100.000</i>	<i>25,50%</i>	<i>Si</i>	<i>1.631.500</i>
<i>Total</i>		<i>6</i>	<i>800.000</i>			<i>13.052.000</i>
<i>Responsable de Calidad y Medio Ambiente</i>	<i>Producción</i>	<i>1</i>	<i>142.677</i>	<i>25,50%</i>	<i>No</i>	<i>2.327.775</i>
<i>Responsable de Planta de Generación de Energía Eléctrica</i>	<i>Producción</i>	<i>1</i>	<i>142.677</i>	<i>25,50%</i>	<i>No</i>	<i>2.327.775</i>

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

<i>Operarios Especialistas Mecánicos</i>	<i>Producción</i>	<i>3</i>	<i>151.677</i>	<i>25,50%</i>	<i>No</i>	<i>7.423.831</i>
<i>Operarios Especialistas Eléctricos</i>	<i>Producción</i>	<i>6</i>	<i>151.677</i>	<i>25,50%</i>	<i>No</i>	<i>14.847.662</i>
<i>Jefe de Captación, Tratamiento y Suministro de Biogás</i>	<i>Producción</i>	<i>1</i>	<i>147.177</i>	<i>25,50%</i>	<i>No</i>	<i>2.401.193</i>
<i>Operarios de Mantenimiento de Red y Captación</i>	<i>Producción</i>	<i>4</i>	<i>142.677</i>	<i>25,50%</i>	<i>No</i>	<i>9.311.101</i>
Total		16	2.368.332			38.639.337

Tabla 3.2.1 Personal necesario junto con los gastos asociados a ellos.

3.2.1 Cargas sociales, contribuciones y otros gastos a cargo del empleador

A continuación, se detallan las contribuciones y aportes de la seguridad social a cargo del empleador (Luz y Fuerza, 2019):

ASPECTO	Cargas a cargo del empleador
Jubilación	16%
PAMI	2%
Obra Social	6%
Fondo Nacional de Empleo	2%
Seguro de vida Obligatorio	0,03%

Tabla 3.2.1.1. Cargas sociales y otros gastos a cargo del empleador.

A continuación, se detallan las contribuciones propias del sindicato de Luz y Fuerza:

- Reconocimiento por título universitario (art. 22): “Será válido una sobreasignación adicional equivalente a la diferencia entre el sueldo mensual (art. 29) de la categoría de revista y el correspondiente al de la categoría

inmediata superior”, mientras que para categoría 6 le corresponderá un aumento del 20%. Por simplicidad se tomará un aumento promedio sobre el sueldo básico del 20% por reconocimiento de título universitario.

- Antigüedad (art. 24): Se exige un aumento del 1% sobre el sueldo básico por cada año de antigüedad
- Asignación por función de cargo (art. 25): A las personas con personal a cargo les corresponde un aumento de 5% (hasta 5 personas inclusive), 10% (hasta 10 personas inclusive) o 15%.
- Compensación por movilidad: Dada la localización de la central, resulta importante este aspecto. Suponiendo que el personal contratado reside en Capital Federal o alrededores, se toma un promedio de 15 Km por viaje. Se tiene un consumo promedio de 0,25 litros por Km recorrido, y se toma un precio estimado de \$45 por litro de combustible. Por lo tanto, el total remunerado será el equivalente al precio de 7,5 litros de combustible, es decir, \$340 totales entre ida y vuelta al CEAMSE.
- Tareas peligrosas (art. 37): Se consideran peligrosos:
 - trabajo en celdas de media y alta tensión
 - trabajos en altura (más de 4 metros)
 - trabajos con tensión en postes de luz
 - tareas de contrastación de medidores comerciales
 - otros trabajos con elementos eléctricos que puedan perjudicar al operario

Dadas estas características, se adicionará un 10% sobre el sueldo básico de los operarios.

- Ropa de trabajo (art. 41): Se contemplan mudas de invierno (2 pantalones, 2 camisas y una campera) y verano (2 pantalones y 2 camisas), calzado y overol. Además, la empresa está encargada de los elementos de seguridad en caso de necesidad. Estas prendas se renovarán una vez por año. A partir de las vestimentas mencionadas, se estimó un total anual de \$8.300 por empleado.
- Contribuciones varias (art. 42 a 47): Incluye previsión para jubilados y pensionados, contribuciones por gastos de fallecimiento, servicios sociales, y otros. Se toma un valor del 12%.

Para cada empleado se calculan las cargas sociales y reconocimientos correspondientes. Como se mencionó en el capítulo anterior, dado que el personal administrativo atenderá a ambas plantas en simultáneo según las necesidades de cada una de ellas, hasta que la planta actual deje de estar en funcionamiento, y deba abocarse a la nueva planta solamente, se prorratan sus sueldos y cargas sociales.

Por lo tanto, en los primeros años se prorratea un 70%, dado que el proyecto requiere más atención, hasta que en el año 2023 se asume que la planta ya está en régimen, por lo que el personal administrativo se reparte equitativamente entre ambas plantas y se comienza

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

a prorratear el 50%. Finalmente, a partir de 2026, año en que la planta actual cierra, se prorratea el 100%.

3.3 SEGUROS

El aseguramiento de las distintas maquinarias es un factor importante al momento de prevenir posibles problemas o roturas de máquinas para poder reponerlas por otros obteniendo el pago del valor de estas. El valor de este se estipula para maquinarias en una tasa promedio del 2% del total de la máquina, actualizando la prima año a año según la actualización de dichos precios. Las máquinas aseguradas son las que presentan los costos más elevados en conjunto con los mayores riesgos al momento de presentar una falla; es decir, los motogeneradores y los transformadores. Los transformadores al ser de producción nacional se ajustará el canon de aseguramiento según la inflación, mientras que los motogeneradores se ajusta en base la depreciación acumulada.

3.4 IMPUESTOS

Se pueden dividir los impuestos que se pagarán en el proyecto en tres grandes familias: impuestos nacionales, provinciales y municipales. Dada la localización, el proyecto de inversión está bajo la jurisdicción del partido Gral. San Martín, Provincia de Buenos Aires. Por este motivo entra en ambos regímenes de impuestos.

3.4.1 Impuestos nacionales

Los impuestos nacionales que aplican en el proyecto son dos:

- **Impuesto a las ganancias:** debido a la “Ley de Impuesto a las ganancias” se deberá pagar un porcentaje del 30% de impuesto sobre las utilidades después de intereses y amortizaciones, siendo del 25% a partir del 2020. Al distribuir los dividendos la empresa también debe afrontar una tasa del 7%, pasando a ser del 13% desde el 2020 (Flores, 2019).
- **Impuesto al valor agregado (IVA):** es un impuesto sobre compra o venta de bienes, servicios o inversiones. La tasa que corresponde en los casos generales es del 21%, 21%, mientras que para la venta de energía es del 27%. Los saldos (surgen de los créditos y débitos al pagar o cobrar el impuesto) pueden ser positivos o negativos, pagándose en el mismo ejercicio o quedando a cuenta para el próximo ejercicio. Afectan directamente al proyecto y su flujo de fondos, debiendo ser estos

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

analizados en mayor profundidad a lo largo del estudio de inversión (Buenos Negocios, 2019).

Respecto al beneficio que perciben los proyectos de inversión de energías renovables, la aceleración de amortizaciones no es posible dado que: *“La reducción de la vida útil en un 50% será exclusivamente para las obras de infraestructura iniciadas con anterioridad al 31/12/2016”* (Subsecretaría de Energías Renovables, 2016).

3.4.2 Impuestos provinciales

La provincia de Buenos Aires decidió mediante la adhesión a la ley 27191 para el fomento de las energías renovables, mediante la ley provincial 14838. Mediante esta ley se otorgan exenciones de Ingresos Brutos, Impuesto de Sellos e Impuesto Inmobiliario ("La Provincia reglamentó beneficios fiscales para proyectos de energías renovables", 2019).

En esta ley no se menciona una exención al impuesto al cheque, por lo que será considerado éste en el proyecto de utilizarse esta herramienta financiera. El mismo tiene una tasa general del 0,6% aunque puede computarse a otros impuestos según el tipo de contribuyente (Ceteri, 2019). Se decide optar por una hipótesis pesimista y, por simplicidad, tomar la tasa mencionada.

3.4.3 Impuestos Municipales

Dentro de lo que podríamos considerar como impuestos municipales, en general se distinguen las tasas y contribuciones, no quedando fuera de este grupo la municipalidad de San Martín (Ministerio del Interior, 2015):

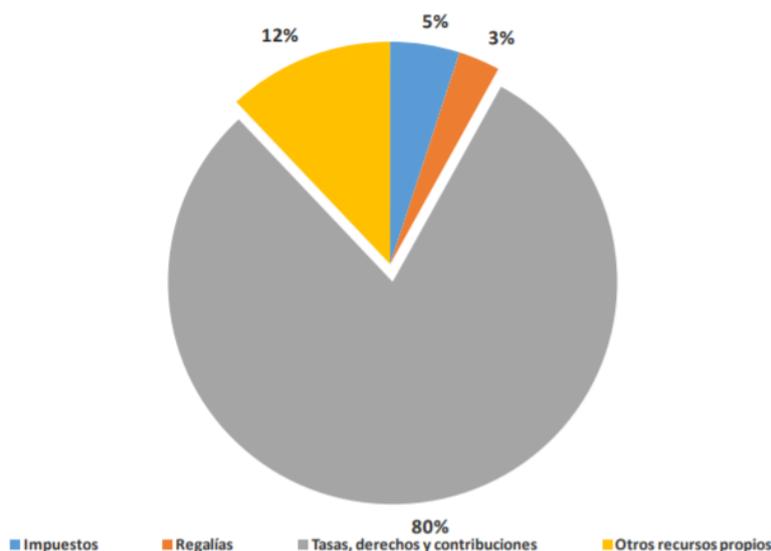


Figura 3.4.3.1. Composición de la recaudación municipal 2013.

Para conocer la totalidad de las tasas que implican en el proyecto, se recomienda visitar la fuente detallada en la bibliografía (Municipio de General San Martín, 2019).

En la misma se destacan las tasas aplicadas a cada contribuyente, siendo la más importante la tasa por aseo, limpieza y servicios municipales indirectos (Artículo 1). Dado que el inmueble está afectado a actividades económicas, tales como Comercios, Industrias, Servicios o similares, con una valuación superior a los \$9.000.000, y tomando el caso pesimista de mayor carga impositiva, el monto a pagar sería de aproximadamente \$1.700. Sin embargo, este valor es de principios de 2019, por lo cual debe actualizarse al valor 2020. Para esto, se ajusta el valor tomando la inflación esperada del año (21%) y resultando igual a \$2.100 a inicios del 2020. Este monto es mensual, por lo que anualizado sería de \$25.200.

Además, se destacan los derechos de construcción y la tasa por control de calidad de obra para servicios públicos. De estas corresponden 205\$/m² y \$255.200 al iniciar la obra de construcción, según el artículo 30 y 86 respectivamente (Municipio General San Martín, 2019). Estos valores se ven afectados como el caso anterior, tomando un valor aproximado final de 250\$/m² (estimación de construcción de central de 5000m² para RenovAr y ampliación de 2000m² para MATER) y \$310.000 a inicios de 2020.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Distritos	CONCEPTO			Industria - Comercio - Otros Destinos
	Vivienda Unifamiliar	Vivienda Unifamiliar	Vivienda Multifamiliar	
	Hasta 100 M ² .	Más de 100 M ² .		\$ 205,00
Ue – Ed –Er Ee - Rep	--	--	--	
Cp – Cs - Cl – Ce –Ra –Rm –Ru -Rp- CB-Rm2-Tec	\$ 130,00	\$ 155,00	\$ 230,00	
Rb – Ri – Rue – Ir -ld - le - lp -Ire	\$ 95,00	\$ 100,00	\$ 155,00	
Rc – Up	Exentos		\$ 115,00	

Tabla 3.4.3.1. Precio de derecho de construcción por m², Artículo 30 (Municipio de General San Martín, 2019).

1	Desde 1 a \$ 10.000,00.-	5,30%
2	Desde 10.000,01 hasta \$ 50.000,00.-	\$ 2.700,00
	más el 5% sobre el excedente de \$ 10.000,00	
3	Desde 50.000,01 hasta \$150.000,00	\$ 12.700,00
	más el 4,80 % sobre el excedente de \$ 50.000,00	
4	Desde 150.000,01 hasta \$ 300.000,00	\$ 35.700,00
	más el 4,50 % sobre el excedente de \$ 150.000,00	
5	Desde 300.000,01 hasta \$500.000,00	\$ 68.300,00
	más el 4,20 % sobre el excedente de \$ 300.000,00	
6	Desde 500.000,01 hasta \$ 1.500.000,00	\$ 109.700,00
	más el 3% sobre el excedente de \$ 500.000,00	
7	Más de \$ 1.500.000,00	\$ 255.200,00
	más el 2.60% sobre el excedente de \$ 1.500.000,00.-	

Tabla 3.4.3.2. Precio de control de calidad de obra para servicio público, Artículo 86 (Municipio de General San Martín, 2019).

3.4.4 Plazos de pago RenovAr y MATER

Las políticas según las cuales se rige RenovAr indican que los pagos se deben realizar a 30 días. Sin embargo, en la práctica se llegan a realizar con hasta dos meses de retraso. Por su parte, en el caso del MATER, el periodo teórico en el cual debe realizar los pagos es de 60 días, pero en la práctica también suelen tener demoras de hasta cuatro meses.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Normalmente dicho plazo se encuentra en el tercer mes al igual que el máximo tiempo de espera que RenovAr.

3.4.5 Canon CEAMSE

Debido a que el proyecto se lleva a cabo en territorio del CEAMSE, debe pagarse un canon que depende de los ingresos brutos del proyecto llevado a cabo. Este porcentaje acordado en la licitación es del 5%.

3.4.6 Garantía

Para garantizar el cumplimiento del contrato se debe realizar un depósito el año en que se atribuye la licitación. Este monto se le otorga a CAMMESA y es devuelto al momento en que la planta comienza con su funcionamiento. En caso de no lograr finalizar la planta y comenzar a producir en los plazos acordados o ante cualquier otra irrupción en el contrato la empresa se quedará con el monto estipulado en US\$250.000 por cada MW de Potencia Contratada. Este reglamento es impuesto por el FODER (Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables) y en el caso de ese proyecto implica unos US\$1.250.000 de depósito pagados en el 2020 y devueltos en el 2021.

3.5 FINANCIAMIENTO

Como se observa en el gráfico siguiente, al inicio del proyecto el flujo de fondos acumulado es negativo, debido a las inversiones en construcción, maquinaria y puesta en marcha que deben realizarse los primeros años antes de comenzar la producción. El bache máximo ocurre en el año 2020 y éste ronda los 14.900.00 USD.

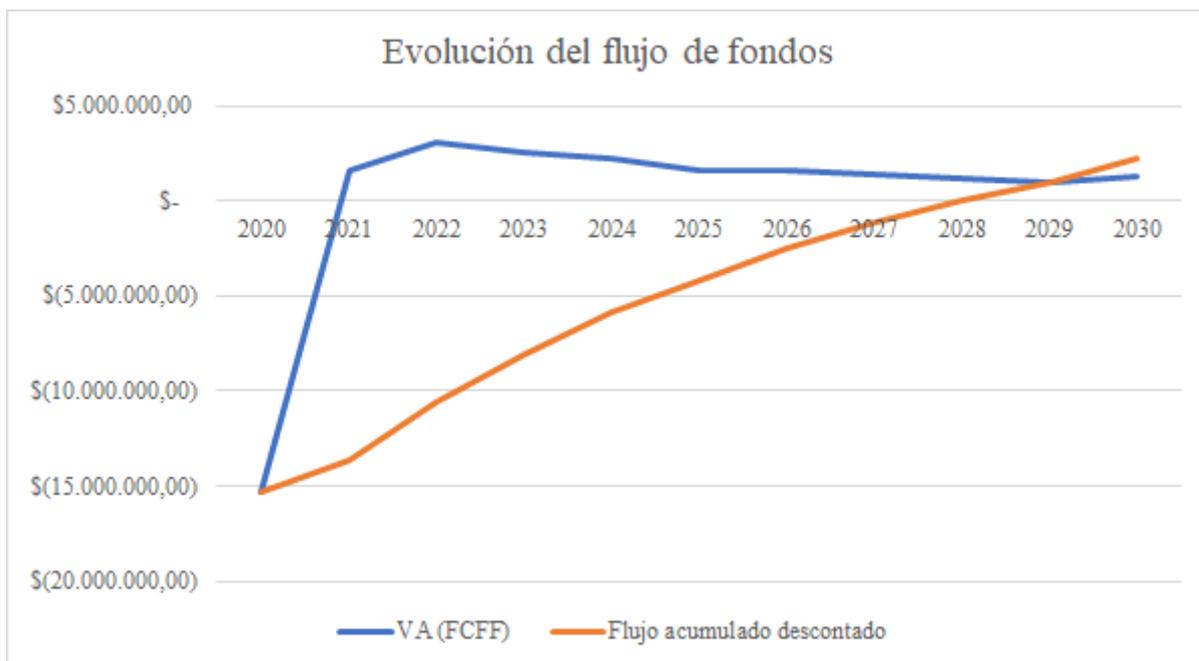


Figura 3.5.1. Evolución del flujo de fondos acumulado del proyecto.

Por lo tanto, luego de analizar las distintas posibilidades de financiamiento para cubrir el bache mencionado, que se encuentran en el Anexo, se opta por la que más se ajusta a las características de este proyecto, que en este caso es un Préstamo Verde del Banco Itaú, ya que es el único que se acerca de manera considerable a la estructura de capital posible para el proyecto 65/35. El préstamo tiene las siguientes características:

Monto (estructura de capital 70/30)	USD 14.900.000
Plazo	84 meses
Amortización	Anual desde el mes 24
Intereses	Anual desde el mes 24
Tasa fija	10,95%

Tabla 3.5.1. Características del préstamo elegido.

3.6 TRATAMIENTO DEL IVA

En primer lugar, se debe diferenciar el porcentaje asociado al IVA de acuerdo con el tipo de producto y su país de proveniencia. En la siguiente tabla se adjuntan los valores asociados a las inversiones mencionados con anterioridad:

Equipo	IVA
Demister	21%
Agua/glicol Chiller	21%
Filtro de carbono (columna de carbón activado)	21%
Intercambiador de calor	21%
Aislación filtro de carbono	21%
Separador de fase	21%
Soplador Primario	21%
Soplador secundario	21%
Filtro de partículas	21%
Materiales para tuberías (tubos, pozos, cabezales y red perimetral)	21%
Vehículos	21%
Motogeneradores	21%
Transformadores	21%
Materiales eléctricos	21%
Permisos y colegiación	21%
Sistema de medición comercial	21%
Equipos de instrumentación y control	21%
Equipamiento y sistema de seguridad de sala de control	21%
Electroducto	21%
Sala de control	21%
Pozos y red perimetral (tercerizado)	21%
Subestaciones (tercerizado)	21%

Tabla 3.6.1. IVA asociado con las inversiones mencionadas anteriormente.

Además del IVA de 21%, se tiene que tener en cuenta el IVA adicional para aquellos equipos importados. Se toma como valor de referencia el IVA adicional del 20%, dato conseguido para el soplador primario. Los equipos que cuentan con este IVA adicional son: demister, filtros de carbono, intercambiadores, sopladores primario y secundarios y filtros de partículas. Los motogeneradores no cuentan con este IVA adicional, dado que no es posible conseguirlos en el territorio nacional, por lo que quedan exentos.

3.7 INFLACIÓN Y TASA DE CAMBIO

Debido a que se realizan los flujos de fondos en pesos, se deben adecuar los precios de aquellos insumos dolarizados para que se encuentren todos en la misma moneda. Los costos tienen una gran dependencia en la tasa de cambio y la inflación y presentan grandes fluctuaciones con el paso de los gobiernos. Por estas razones, se deben usar proyecciones y adaptar los costos de acuerdo con el momento en que se espera que se realicen.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Como se mencionó previamente, las inversiones en las maquinarias más importantes se realizan en dólares debido a que se deben importar. Para ello, se debe tener en cuenta el valor de la tasa de cambio en el año de inversión proyectada por lo que es necesario tener una proyección de la tasa de cambio:

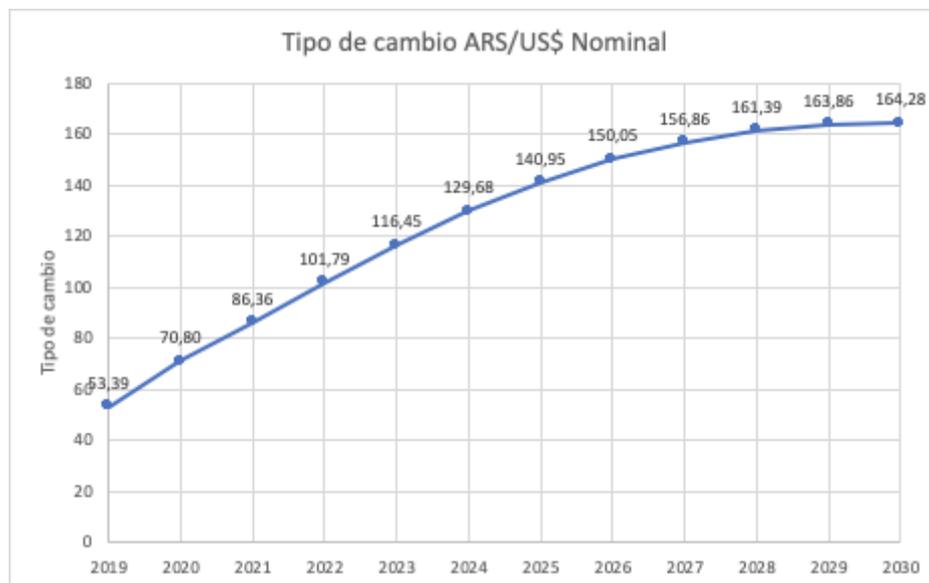


Figura 3.7.1. Proyección del tipo de cambio hasta 2030.

Por otro lado, cuando se deben realizar inversiones o gastos en el mercado local, se debe ajustar por inflación con el correr del tiempo. Por esta razón se debe utilizar la proyección de inflación acumulada desde el año base (2019):

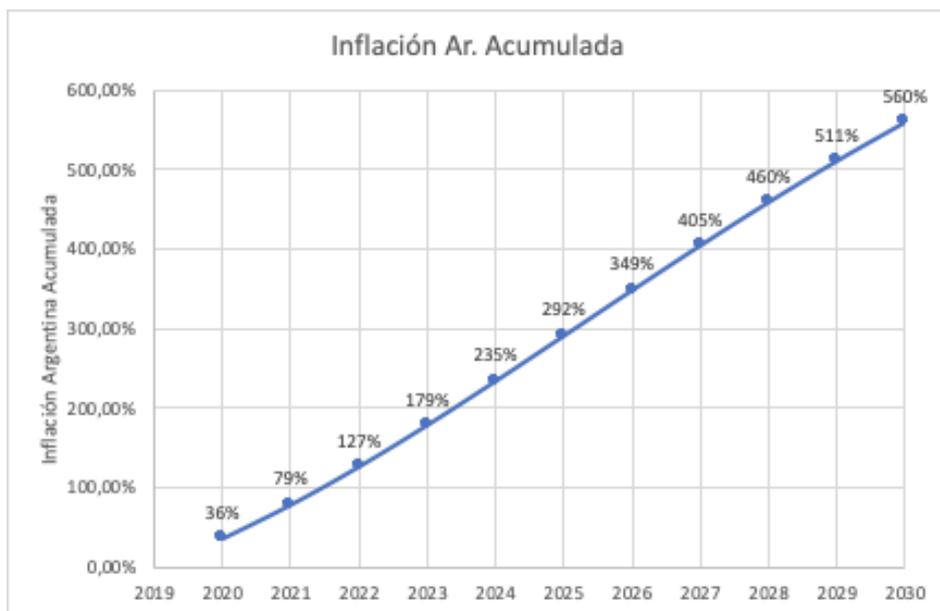


Figura 3.7.2 Proyección de la inflación acumulada en Argentina hasta 2030.

3.8 CUADRO DE RESULTADOS

A continuación se presenta el estado de resultados del proyecto. Los ingresos corresponden a la facturación generada a partir de la venta de energía, tanto en RenovAr como en el MATER. Dicho valor se establece como el precio de venta del MWh de cada contrato, multiplicado por la cantidad de energía vendida en ese período. Por otro lado, tenemos los costos. Hay dos centros principales de costos, en donde se destaca todo lo relacionado con gastos de operación y sueldos y cargas sociales. Además, también se encuentran los costos asociados a seguros, impuestos y permisos. A continuación, se ve graficada la utilidad neta a lo largo de los años del proyecto

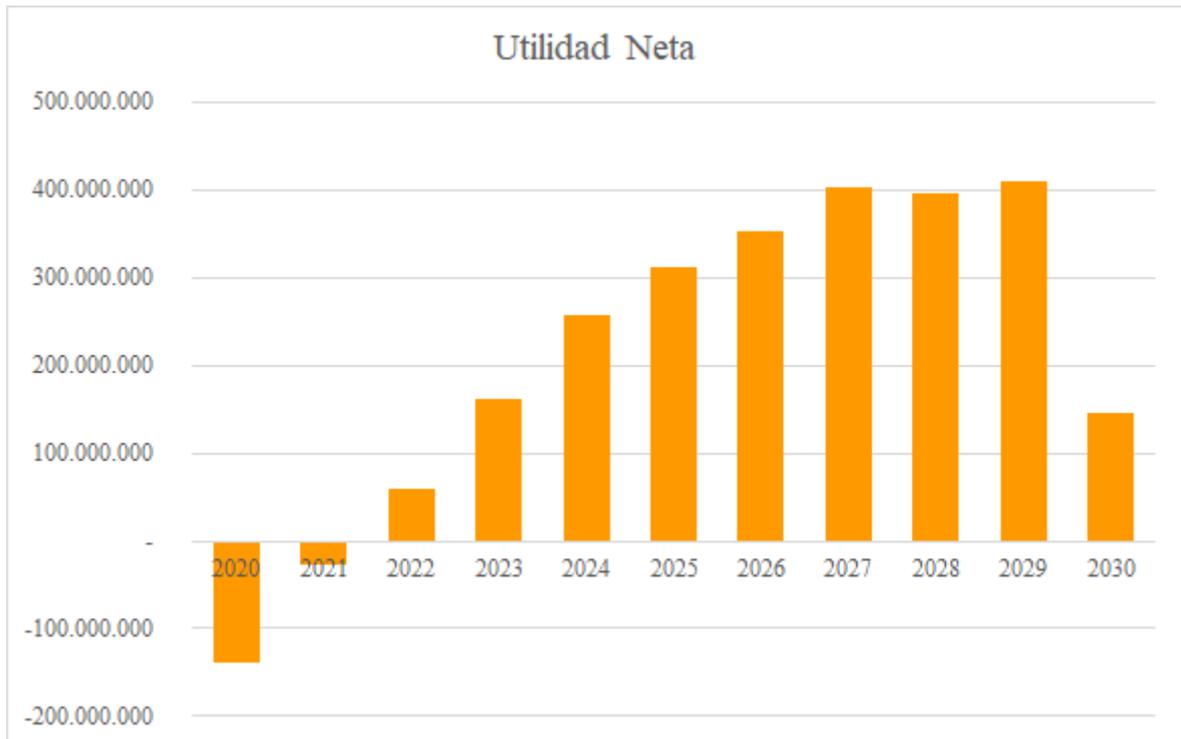


Figura 3.8.1. Cuadro de resultados hasta el año 2030.

3.9 FLUJO DE FONDOS

También hay que tener en cuenta que a la hora de analizar el proyecto se debe analizar en valor presente, es decir que se debe llevar todo al año 0 que en este caso corresponde al 2020 debido a que es el año en el que se empieza a producir. A continuación, se muestra un gráfico donde se ve reflejado el comportamiento del flujo de fondo en el transcurso de los años.



Figura 3.9.1. Flujo de fondos del proyecto sin financiamiento.

Como se puede observar, en los primeros dos años el flujo es negativo debido a la alta inversión que se debe realizar, pero a partir del año siguiente los ingresos se mantienen estables mientras que las inversiones son prácticamente nulas.

3.10 WACC

Para el cálculo del WACC se tuvieron en cuenta las betas recomendadas por Damodaran de la industria de Energías renovables y verdes (Green & Renewable Energy) en los mercados de USA.

Industry Name	Number of firms	Beta	D/E Ratio	Effective Tax rate	Unlevered beta
Green & Renewable Energy	21	1.62	146.40%	0.00%	0.66

Tabla 3.10.1. Índices mercado energía renovable

Se toma el beta desapalancado para luego apalancar según tasas de la región.

Para el cálculo de los rendimientos de la industria se usó la media geométrica del período 1969-2018 al considerarse más representativa para el análisis en cuestión.

Year	S&P 500 (includes dividends)	3-month T.Bill	Return on 10-year T. Bond
1928-2018	9.49%	3.38%	4.83%
1969-2018	9.73%	4.71%	6.69%
2009-2018	12.98%	0.49%	1.97%

Tabla 3.10.2. Tasa libre de riesgos en Estados Unidos.

Además, para calcular la prima de mercado se usó la tasa libre de riesgo tomada del tesoro de Estados Unidos de un bono a 10 años.

El cálculo final del costo de capital tiene en cuenta la estructura del capital para cada uno de los años. Estos valores se ven reflejados en la hoja de cálculos que acompaña al análisis.

3.11 TIR, VAN Y PERIODO DE REPAGO

VAN	2.223.769
TIR	16.54%
IR	1
Período de repago	6
WACC promedio	13,51%

Tabla 3.11.1. Resultados relevantes del flujo de fondos del proyecto.

El análisis completo económico y financiero para el flujo de fondos del proyecto devuelve un VAN positivo y un período de repago de 6 años.

Analizando el CFE, podemos observar el cuadro resumen siguiente:

VAN	304.759
TOR	21.57%
IR	2
Período de repago	6
ke promedio	18,92%

Tabla 3.11.1. Resultados relevantes del flujo de fondos del inversor.

La tabla anterior indica que el período VAN del inversor es de 304.759 USD siendo un proyecto muy atractivo para un inversor cuyo objetivo es recuperar la inversión. De todos

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

modos, este flujo podrá verse afectado en el capítulo siguiente, dado que en él se evalúa la posibilidad de aumentar el atractivo del proyecto distintas mediante opciones reales y mitigaciones pertinentes.

El VAN del CFE tiene un valor cercano a 0, aunque superior, asegurando ganancias hacia los inversores. Esto se debe a que la tasa de descuento utilizada es mayor en el caso del flujo del inversor, puesto que la tasa k_e es mayor al WACC.

3.12 CONCLUSIÓN

Luego de la información obtenida en la etapa de ingeniería, con los costos asociados a cada etapa del proyecto pudimos dar comienzo al análisis de este capítulo. En primer lugar, es importante analizar el flujo de fondos del proyecto para realizar el análisis económico-financiero. A partir del mismo, se puede obtener una idea de la rentabilidad de la aplicación. Esto se debe a que, partiendo de éste, se puede calcular el VAN, la TIR y otros indicadores necesarios para comprender el comportamiento que podría tener el proyecto. Hay que destacar que todavía el precio es estimativo, debido a que el mismo se debe calcular al finalizar la etapa de riesgo, pero para que el análisis de este apartado se supuso el precio observado en la etapa de mercado, siendo 129 USD/MWh para la energía vendida mediante el programa RenovAr y 67 USD/MWh para los MWh vendidos en el MATER.

Debido a la alta inversión necesaria en los primeros años, se debe cubrir el bache generado, por lo que en este caso se recurre a un préstamo junto con aporte de capital propio. Esto es relevante debido a que a lo largo del proyecto es necesario conseguir el dinero para pagar la deuda, y a su vez empezar a generar ganancias luego de la alta inversión. El período de pago resulta ser de 6 años, tanto para el proyecto como para los inversores.

Es importante destacar que el análisis realizado se basa en proyecciones de variables como eficiencias, tasa de cambio e inflación, motivo por el cual en el siguiente capítulo se estudian sus comportamientos y el efecto sobre el VAN.

4 RIESGO

En este capítulo, se identificarán aquellas variables que pueden afectar la rentabilidad del proyecto, para evaluar su impacto y hallar la distribución de probabilidad de aquellas que resulten más relevantes. Luego, se analizarán posibles formas de mitigar los riesgos asociados. Además, se tendrán en cuenta distintos escenarios posibles para analizar posteriormente cuál de dichos escenarios resulta más rentable al proyecto.

Una vez realizadas las iteraciones correspondientes, se encontrará el rango de precios al cual se debe vender la energía generada a partir del biogás para que el VAN más esperado sea mayor a 0. Cabe destacar que el precio al cual se licita en RenovAr es de suma importancia; si el precio es demasiado alto, puede que otro competidor ofrezca un precio menor y que la licitación no sea exitosa, mientras que si es demasiado bajo la posibilidad de que el proyecto genere pérdidas aumenta.

También, hay que destacar que, en el caso de no ganar la licitación, se debe incurrir en gastos como el pliego para entrar a RenovAr y los estudios de análisis del terreno junto con otros gastos necesarios para justificar la realización del proyecto.

4.1 VARIABLES DE RIESGO

La primera parte de este capítulo consiste en la definición de aquellas variables que consideramos relevantes a la rentabilidad del proyecto. Junto con la definición, se estableció el tipo de riesgo que representa; un riesgo sistemático si la variable afecta al mercado en su totalidad, o no sistemático si se debe a algún evento que afecta exclusivamente a nuestro proyecto y que genera un impacto en el flujo de fondos.

4.1.1 Volumen de biogás generado

En este proyecto, se utiliza la ecuación de primer orden de IPCC para estimar el volumen de biogás generado en los distintos años. Para un k cercano al 0,5, se estima un error del 20% (Shirley Thompson, Jennifer Sawyer, Rathan Bonam y J.E. Valdivia, 2009).

Dado que la generación de biogás en un año depende del volumen de biogás generado el año anterior, se propone definir un error en la estimación que vaya de un -20% a un 20% del valor calculado por la ecuación, y que a su vez éste dependa del error del año previo.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

De esta manera, se logra tener una curva de generación de biogás que tiene un criterio lógico con el pasar de los años. Esto lo que logra es considerar si en un principio la generación es menor a la esperada, a lo largo de los años el modelo tiende a subestimar la cantidad producida, mientras que si se genera mayor cantidad tiende a sobreestimar la generación.

A este error se le asigna una distribución normal, acotando entre los valores mencionados previamente y como media 0% con un desvío de 10% debido a que se supone que el modelo tiende a acertar en sus predicciones con una buena precisión. Es por esto por lo que, al utilizar una distribución normal, se aceptan valores posibles comprendidos entre los mínimos y máximos posibles, con mayor probabilidad de que el modelo acierte en su predicción y bajando proporcionalmente a medida que nos alejamos de la moda.

Variable	Error IPCC
Razón	%
Distribución	Normal
Mínimo	-20.00%
Máximo	20.00%
Media	0.00%
Desvío	10.00%

Tabla 4.1.1.1: Resumen de la variable 'Error IPCC'.

4.1.2 Composición del biogás

El poder calorífico para la generación de energía es aportado por el metano presente en el biogás, que representa un 50%. Sin embargo, el porcentaje de metano varía entre un 40 y un 60%, dado que la composición del biogás depende en gran medida de las condiciones de operación (temperatura y humedad), el grado de compactación, y las características y volumen de los RSU dispuestos en el relleno sanitario.

Debido a la existencia de diversos factores que afectan a esta variable composición, por el Teorema Central del Límite se puede estimar que el porcentaje de metano presente en el biogás sigue una distribución normal $N(\mu=50\%, \sigma=10\%)$ limitada entre 40% y 60%, dado que éstos son los valores típicos del rubro. Además, se puede aceptar la delimitación entre ambos límites, ya que el nivel de metano presente se va regulando constantemente a través de la apertura o cierre de las válvulas de los pozos, intentando mantener de

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario
manera estable el nivel producido para que la eficiencia sea mayor a la hora de la generación.

Cabe destacar que esta variable es de suma relevancia, ya que para el correcto funcionamiento de los motogeneradores, el porcentaje de metano presente en el biogás debe superar el 45%; si éste fuese inferior, el proyecto se vería seriamente comprometido, ya que podría no generarse la energía suficiente para cumplir con los contratos.

Variable	%CH4 en biogás
Razón	
Distribución	Normal
Mínimo	40.00%
Máximo	60.00%
Media	50.00%
Desvío	10.00%

Tabla 4.1.2.1. Resumen de la variable '%CH4 en biogás'.

4.1.3 Eficiencia de captación

La eficiencia en la captación depende de diversos factores. Entre las variables principales se pueden mencionar:

Nivel de líquidos lixiviados: La subestimación de la generación puede llevar a un mal dimensionamiento de los pozos. Es importante que la altura del líquido lixiviado no sobrepase los orificios del tubo captador de biogás. En caso de suceder esto, la eficiencia de la captación se ve disminuida por la inactividad forzada de ese pozo. La generación de lixiviados depende de la humedad de la basura y de las filtraciones de agua al pozo, generalmente debidas a las precipitaciones.

Obstrucción de los pozos: En ocasiones, la basura que llega al relleno no tiene ningún tipo de tratamiento ni revisión, por lo que la llegada de objetos que puedan llegar a obstruir los tubos de colección es posible. Esto genera que se deban realizar trabajos para volver a reactivar la captación del pozo colector.

Filtración de gas por la cobertura: De todo el biogás generado, parte se pierde por oxidación y otra por filtrado a través de la cobertura.

Radio de influencia de los pozos: Existe una relación entre el radio de influencia y la eficiencia en la colección de biogás.

Como la eficiencia en la captación depende de diversos factores, de igual forma a la composición del biogás, a través del Teorema Central del Límite se propone una distribución normal para la captación. Los valores conceptuales que propone Conestoga (2010) se representan mediante la siguiente figura:

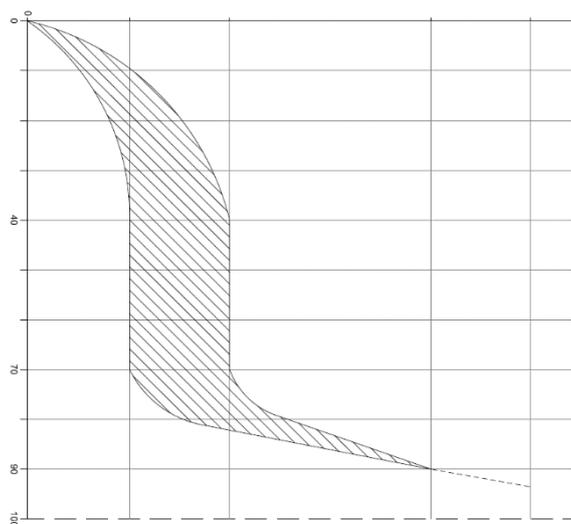


Figura 4.1.3.1. Variación del costo en función de la captación de biogás.

En ella se representa que, para un costo típico dado, la variación de la captación del biogás puede llegar a variar entre un 20 y un 80%. En el mismo se observa que, para costos mayores se puede llegar a obtener una eficiencia mayor al 70%. Analizando la curva, y considerando que la distribución que sigue la variable es normal, consideramos asignarle una media de 62%, con una desviación de 10% ($N(\mu=62\%, \sigma=10\%)$).

Variable	Eficiencia de captación
Razón	%
Distribución	Normal
Mínimo	20.00%
Máximo	80.00%
Media	62.00%
Desvío	10.00%

Tabla 4.1.3.1. Resumen de la variable 'Eficiencia de captación'.

4.1.4 Rendimientos generadores

El rendimiento es un factor para tomar en cuenta al momento de analizar variables. En el caso de los generadores, consideramos que dicho valor se expresa con una distribución normal, debido a que depende de varios factores como composición del biogás, condiciones de operación, entre otras. Debido a que se considera que dichas variables tienen a su vez, comportamiento normal, se puede establecer a partir del teorema central del límite que nuestra variable tiene el mismo comportamiento. Sin embargo, acotamos dicha variable con extremo inferior 35%, y extremo superior 40% debido a que, si la composición se encuentre fuera de los parámetros óptimos de trabajo, los operarios pueden a través de las válvulas, abrir o cerrarlas para regular el nivel de metano presente. Por esta razón consideramos que el rendimiento no debe caer por debajo del 35%, y no debe superar el 40% por limitaciones técnicas del motor de combustión y su máximo rendimiento posible teórico. A su vez, consideramos que el rendimiento medio es de 37%, con un desvío de 2% debido a esta maniobrabilidad que se tiene a partir del juego con las válvulas.

Estos generadores poseen la limitación de necesitar una pureza mínima de 45% de metano para su funcionamiento. En el caso de no obtenerse la eficiencia caerá abruptamente incluyendo la posibilidad de que la máquina deje de funcionar. En esos casos será condicional con la pureza del gas y si llega a ocurrir se tomará en cuenta una eficiencia del 50% sobre la que fue diseñada, es decir de 18,5%. Esto se debe a que en caso de que la composición caiga por debajo del mínimo necesario, esto no significa que la máquina se para por un año calendario, sino que en algunos momentos del año se tuvo que dejar de producir dadas las condiciones del insumo. Por esta razón, se le asignó un 50%, representando en teoría que en un largo periodo la máquina dejó de producir, bajando su generación a la mitad.

Variable	Generadores
Razón	Rendimiento
Distribución	Normal
Mínimo	35.00%
Máximo	40.00%
Media	37.00%
Desvío	3.00%

Tabla 4.1.4.1. Resumen de la variable 'Generadores'.

4.1.5 Inflación

Para poder modelizar la inflación se utilizó un modelo exponencial que tiende hacia un cierto valor de estabilización a lo largo de diez años. El valor promedio de la inflación en América del Sur ronda al 5%, y en otros países como México al 8%. Se decide tomar este último valor como posible para una proyección a 10 años, al ser más pesimista y adecuado para la Argentina que siempre estuvo por arriba de la media.

Para este modelo, el valor que se hace variar es el parámetro de la exponencial, o la velocidad con la que se estabiliza en ese valor. Se partió del último dato anual del INDEC como base y se llegó a la siguiente proyección.

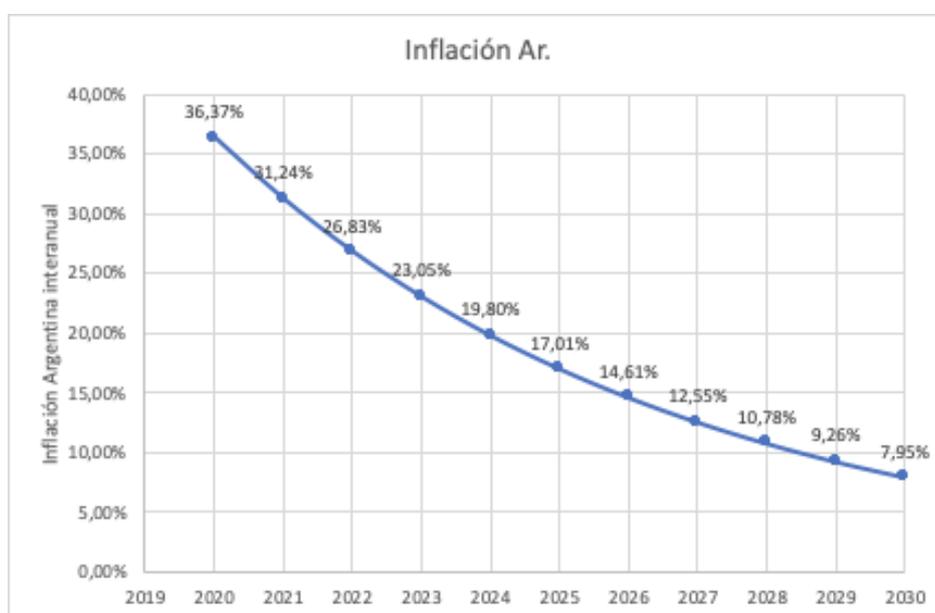


Figura 4.1.5.1. Proyección de inflación.

El modelo tiene la siguiente forma:

$$Y=\lambda*e^{-\beta X} \quad (4.1.5.1)$$

Donde Y es la inflación anual, X el año, un parámetro de la exponencial y β la velocidad con la que se estabiliza.

$$Y=0.5738*e^{-0.152 X} \quad (4.1.5.2)$$

Para el valor de la velocidad se definió una distribución normal de desvío de 0.04 y centrada en $=0.152$, que es el valor que logra estabilizar en 8% a los diez años. Si se toma

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

un valor por arriba de este, quiere decir que se llega a la meta en un plazo menor a 10 años. Por este motivo, se decide limitar este valor entre 0.1 y 0.2 en caso de que se llegue al valor terminal en un valor cercano a 10 años.

4.1.6 Tipo de cambio nominal

El tipo de cambio afecta directamente a los ingresos brutos del proyecto. El contrato establece un precio fijo en dólares ajustable al tipo de cambio al momento de la venta de la energía. Para estimar el comportamiento de esta variable en el flujo de fondos se la vinculó con la inflación mediante las proyecciones del tipo de cambio real. Esto se debe a que estas dos variables no actúan en forma independiente, sino lo hacen siguiendo una correlación positiva.

Para el cálculo del tipo de cambio real se siguió con la siguiente relación.

$$\text{Tasa de cambio nominal} = \text{Tasa de cambio real} * \frac{\text{Inflación Acumulada ARG}}{\text{Inflación Acumulada USA}} \quad (4.1.6.1)$$

Así, con las proyecciones del tipo del tipo de cambio real, y las inflaciones de cada uno de los países se puede estimar el tipo de cambio nominal. La inflación de USA se estimó a partir de las proyecciones de Statista y luego con una tendencia a estabilizarse en un valor cercano al 2% anual en 2030.

Según los datos históricos se pudo comprobar el comportamiento de la tasa de cambio real según sigue:

Año	IPC ARG	Acumulada	TC NOMINAL	IPC USA	Acumulada	TC REAL
2000	-0.015	1.000	1.00	0.034	1.000	1.00
2001	0.006	1.006	1.00	0.016	1.016	1.01
2002	0.396	1.405	3.06	0.024	1.040	2.27
2003	0.027	1.443	2.90	0.019	1.059	2.13
2004	0.072	1.548	2.92	0.033	1.094	2.07
2005	0.121	1.735	2.90	0.034	1.131	1.89
2006	0.097	1.903	3.05	0.025	1.160	1.86
2007	0.082	2.060	3.10	0.041	1.207	1.81
2008	0.068	2.200	3.14	0.001	1.208	1.73
2009	0.082	2.382	3.71	0.027	1.241	1.93
2010	0.106	2.633	3.90	0.015	1.260	1.86
2011	0.097	2.889	4.11	0.030	1.297	1.85
2012	0.111	3.210	4.54	0.017	1.320	1.87

2013	0.109	3.561	5.46	0.015	1.339	2.05
-------------	-------	-------	------	-------	-------	------

Tabla 4.1.6.1. Histórico de tipo de cambio nominal. Fuente INDEC.

A partir de estos valores, lo que se intentó modelar fue la proyección del tipo de cambio real con base en los datos que se contaban del tipo de cambio nominal. Con estos valores se pudo ver que el peso argentino tiene un comportamiento tendencial al atraso cambiario. Actualmente el peso argentino se encuentra en gran medida devaluado frente a la moneda estadounidense y, por este motivo, considerar que esta tendencia se mantenga durante los años llevaría a un tipo de cambio nominal mucho mayor al esperado.

Entonces, para poder proyectar el tipo de cambio nominal, se espera que el tipo de cambio real disminuya durante los próximos años (aunque el tipo de cambio nominal aumente) y se logre cierta apreciación de la moneda nacional frente al dólar. Así, lo que se parametriza es la tasa en que el tipo de cambio real disminuye a lo largo de la vida del proyecto. Se sigue el mismo método utilizado para la modelización de la inflación y se hizo variar el parámetro de la velocidad con la cual se aprecia la moneda. Se buscó que esta tasa de acercamiento a los valores de la proyección del tipo de cambio nominal con la que se contaba y se le asignó una distribución normal centrada en -0.051, con un desvío de 0.01. Se consideró al peso siempre en atraso cambiario por lo que además se acotó la distribución entre -0.04 y -0,06.

4.1.7 Riesgo país

El índice riesgo país (EMBI+) es un indicador que mide la diferencia que pagan los bonos del Tesoro de Estados Unidos contra las del resto de los países. Se tiene en cuenta al momento de evaluar decisiones de inversión, ya que incide directamente en la tasa esperada de retorno para determinados proyectos. Su valor está incluido dentro del cálculo del costo ponderado de capital.

Para esta variable de riesgo es muy complicado realizar suposiciones y más aún, poder tomar medidas para mitigar su variación, ya que su valor está atado a la administración pública que realice el gobierno de turno. Estos últimos meses el riesgo país tomó valores muy por arriba de la media debido a los acontecimientos sucedidos y la inestabilidad política cercana a la fecha de elecciones. Por este motivo, para evitar castigar la tasa del proyecto durante toda su vida, se usó el promedio del riesgo país que se marcó durante

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

los 10 años anteriores al proyecto. La evolución concreta del riesgo país es un estudio ajeno al nuestro y por eso nos limitaremos a tomar dicha aproximación.

4.1.8 Riesgo MATER

En esta variable, se tiene en cuenta los cambios que pueden generar un no-cumplimiento en la ley que establece que el porcentaje mínimo de energía generada a partir de fuentes renovables se cumple. Esto tiene relevancia debido a que la energía renovable tiende a tener un mayor precio frente a otras fuentes de energía. Por esta razón, si se elimina esta ley, se tiende a comprar la energía al menor precio disponible, lo que no nos beneficia. Es una variable dicotómica que puede tomar los valores de SI o NO. En caso de que no se cumpla la ley, consideramos que la posibilidad de entrar al MATER se ve afectada muy fuertemente.

4.1.9 Precio MATER

El precio del MATER se vinculó con el precio monómico, el cual fue proyectado por medio de un Mean Reversion. Si bien, al realizarse un único contrato a 9 años induce a un precio único, la posibilidad de realizar más de un contrato lleva a la necesidad de considerar más de un único valor. Esta posibilidad (la de realizar más de un contrato) es el escenario que se plantea más adelante, donde se estudia la posibilidad de aprovechar de mejor manera el biogás excedente, adecuando las instalaciones de la planta y dimensionando el requerimiento de máquinas. El segundo escenario planteado estudia la posibilidad de realizar dos contratos (uno de 5 años y otro de 4, para dar finalización al proyecto en un plazo de 10 años).

Dado que se utiliza la proyección del precio MATER vinculado a la del precio monómico, y este se proyecta mediante Mean Reversion, el error sigue una distribución normal con media y desvío:

$$\mu = 63,22\text{USD/MWh} \quad \sigma = 10,64\text{USD/MWh}$$

Variable	Precio MATER ofrecido
Razón	USD/MWh
Distribución	Normal
Mínimo	0

Máximo	inf
Media	68.50887724
Desvío	10.63911215

Tabla 4.1.9.1 Resumen de la variable 'Precio MATER ofrecido'.

4.1.10 Período de pago (RenovAr)

El período de pago es una variable que impacta directamente en los ingresos de la empresa ya que en ocasiones existen atrasos considerables en los pagos. Esto de todas maneras fue tomado en cuenta en la sección financiera. Por las políticas en las cuales se rige el RenovAr deben realizarse los pagos a los 30 días, pero en la práctica existen hasta 60 días de atraso. De todas maneras, en Cammesa existe un histórico refiriéndose al máximo retraso histórico (72 días) y la evolución del mismo semestre a semestre.

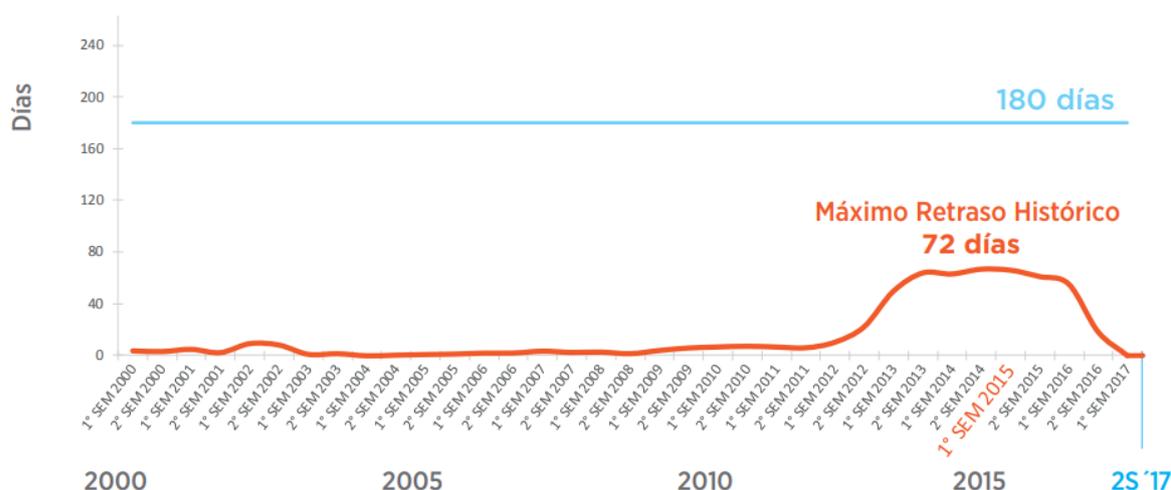


Figura 4.1.10.1. Evolución histórica de los días de retraso en los pagos. (Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación, 2017).

Más allá de una baja en estos a finales de 2017 y con una evolución continua a partir de este punto, existe la posibilidad de que este lapso se repita y es una variable que afecta directamente en los pagos, siendo estos, no 30 como se estipula, sino que hasta poco más de 100 días después. A esto siendo una variable que varía mes a mes se le puede atribuir una variabilidad uniforme entre 0 a 72 días de retraso. Ya que el colocar que en promedio total del proyecto sea igual al máximo histórico resulta exagerado, se decidió poner como máximo el promedio histórico de los últimos 6 años, es decir de 50 días de retraso promedio a lo largo del proyecto. Por ende, se tratará a dicha distribución como una triangular entre 0 y 50 días de retraso luego de los 30 días pactados en RenovAr.

Variable	Período de pago RenovAr
Razón	días
Distribución	Triangular
Mínimo	30
Máximo	80
Media	30

Tabla 4.1.10.1. Resumen de la variable 'Período de pago RenovAr'.

4.1.11 Período de pago (MATER)

En este caso el retraso que se registra es de hasta 7 meses, mientras que el pago promedio se realiza a los 3 meses (plazo estipulado de 90 días impuesto por políticas del contrato). La probabilidad de ocurrencia de plazos mayores es menor a medida que aumentan, por lo que se decide representar la variabilidad del período de pago a través de una triangular. Esta tendrá un valor mínimo 3 meses y de máximo 7 meses (Proyecto Geotérmico Copahue Estudio de Prefactibilidad, 2018).

Variable	Período de pago MATER
Razón	días
Distribución	Triangular
Mínimo	90
Máximo	210
Media	90

Tabla 4.1.11.1. Resumen de la variable 'Período de pago MATER'.

4.1.12 Factor de planta

En esta variable existe un riesgo muy grande, pero que en las entregas previas lo tuvimos en consideración. Esta variable corresponde a la cantidad de energía no aprovechada que se desperdicia. Para evitar este problema, tuvimos en consideración la disposición de un moto generador de reserva fría, es decir que siempre hay un moto generador extra a disposición, para no perder tiempo y al cual se le puede realizar mantenimiento durante su periodo de parada para aprovecharlo aún más. Usualmente, si no se posee una reserva fría, el factor de planta suele rondar en 86% y no logra superar eso debido a mantenimiento. En nuestro caso, contamos con un moto generador adicional para hacer frente a cualquier inconveniente, con lo cual dicho factor debe aumentar. Sin embargo, al no tener dicha reserva fría en otros equipos, y ante la posibilidad de inconvenientes gremiales u otras causas posibles que pueden parar la planta o el correcto funcionamiento,

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

establecimos que la distribución que mejor representa la variable es una distribución normal con límites inferior y superior en 80% y 95%, media 86% y un desvío de 10% para cubrir las eventualidades que puedan surgir.

Variable	Factor de planta
Razón	%
Distribución	Normal
Mínimo	80.00%
Máximo	95.00%
Media	86.00%
Desvío	10.00%

Tabla 4.1.12.1: Resumen de la variable 'Factor de planta'.

4.1.13 Consumo de energía dentro de la planta

Como mencionamos en la etapa de ingeniería, la energía consumida en la generación de energía tiene que ser considerada. Usualmente, en usinas de tamaño relativamente pequeño como la nuestra, el consumo de energía ronda el 20% de la energía generada. Por esta razón, y dado que no hay una forma definida para saber de forma exacta el valor real, le asignamos una distribución normal al error en su estimación debido a que depende de muchos factores, que se pueden suponer con comportamiento normal y nuevamente a partir del Teorema Central del Límite se puede considerar normal. Como mencionamos antes, a este error se le toma como valor medio 100%, desvío de 10% y se lo acota entre 75% y 125%. Luego se lo multiplica por el valor esperado de 20% y con eso se puede estimar el consumo de energía interna en el proceso para la generación. Esta variable afecta tanto al contrato con RenovAr como el MATER.

Variable	Error Consumo de energía RenovAr	Error Consumo de energía MATER
Razón	%	%
Distribución	Normal	Normal
Mínimo	0.75	0.75
Máximo	1.25	1.25
Media	1	1
Desvío	0.1	0.1

Tabla 4.1.13.1. Resumen de las variables 'Error Consumo de energía RenovAr' y 'Error Consumo de energía MATER'

4.1.14 Desabastecimiento del contrato RenovAr y MATER

Esta variable tiene en cuenta la incapacidad de cumplir con los plazos de entrega o con las cantidades establecidas. En caso de no cumplir se deben pagar ciertas multas o sanciones, motivo por el cual se debe evitar a toda costa caer en estos incumplimientos. Debido a que en los primeros años el riesgo de tener baja cantidad de biogás es mayor a que en los años posteriores, y considerando que la cantidad proyectada de producción es bastante más alta que los 5 MW ofertados en RenovAr, incluso siendo pesimistas en la predicción del modelo, no debería afectar de manera significativa pasando los primeros dos años. El último año también es crítico, dado que la oferta en el MATER es calculada a partir de lo disponible en ese año. Por lo tanto, ese año no contar con el biogás proyectado traerá consigo una multa.

La multa para abonar en el caso del RenovAr, cuya explicación legal se encuentra en el anexo, resulta ser de un mes de facturación por cada punto porcentual no abastecido.

En el caso del MATER se diferencian los casos donde el desabastecimiento es mayor o menor al 10%. Si la deficiencia es mayor al 10%, se sigue la misma idea que en el contrato RenovAr, salvo que el precio es el de la energía obtenida a partir de combustible importado. Por simplificación, se tomará el precio acordado en la licitación RenovAr. En caso de ser menor al 10%, existe la posibilidad de reabastecer al año siguiente, y de no hacerlo (en este año de recupero) se paga la multa como si hubiese abastecido menos del 90%.

Estos no llevan una distribución, sino que son consecuencias del resto de las variables.

4.1.15 Ganar la licitación para entrar a RenovAr

Esta variable es muy relevante para nuestro proyecto que puede tomar como valores SI o NO. Hay que destacar que esta variable está relacionada con el precio de RenovAr que establecemos, ya que para ganar la licitación se debe ofertar el precio más bajo siempre y cuando sea viable para la empresa. En el caso de no conseguir la licitación, se debe incurrir en los gastos mencionados con anterioridad de los pliegos de entrada a RenovAr y estudios de suelos. Si este fuese el caso, se debe considerar entrar directamente al MATER, donde el precio de dicho mercado tiene relación y es considerablemente menor al que se puede conseguir en RenovAr. Por esta razón, se debería analizar la rentabilidad

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario del nuevo proyecto. Por otro lado, en caso de ganar la licitación, el desarrollo de este se debe realizar como se menciona a lo largo del proyecto.

4.2 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LAS VARIABLES (TORNADO CHART)

Una vez establecidas las variables que pueden afectar al VAN, se procedió a analizar el impacto que tiene cada una de ellas para establecer si su estudio es relevante o no aporta información. Esto es importante porque a la hora de mitigar riesgos, se debe concentrar en aquellas que tienen mayor impacto. Para esto se debe considerar las distribuciones que siguen dichas variables junto con los rangos posibles en que se pueden mover. De esta forma, se establece un cierto orden de prioridad a la hora de actuar.

En primer lugar, se realizó una primera aproximación a la situación, para analizar cuáles de los factores internos del proceso tienen mayor impacto. Esto se hace para que cuando se haga un análisis más general no tengamos en cuenta aquellas variables que no tienen un peso significativo en el VAN. A continuación, se pueden observar los resultados obtenidos en el tornado chart interno.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

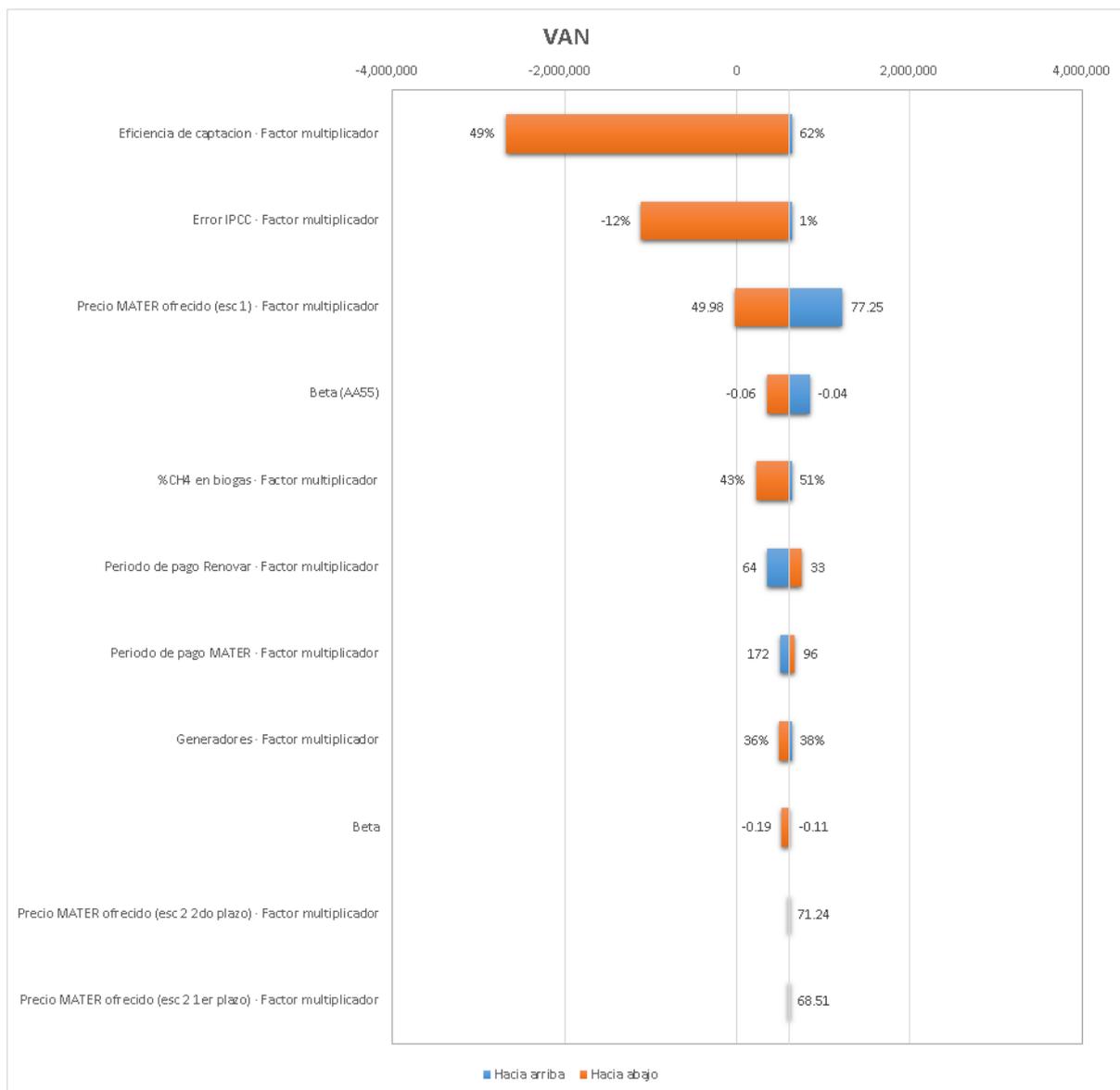


Figura 4.2.1. Resultados obtenidos para el Tornado Chart interno. Impacto de las variables sobre el VAN del proyecto.

Como se puede observar en el Tornado Chart, hay varias variables que tienen peso prácticamente nulo en el VAN resultante del proyecto. De esta manera, las variables relacionadas con el rendimiento de las distintas máquinas se descartan a excepción de los generadores que si bien tienen un impacto bajo llega a ser apreciable. A su vez, se descartan las variables factor de planta y las relacionadas al consumo de energía a la hora de generar. Esto se debe a que, al tener exceso de energía disponible, el impacto que tiene es mínimo siempre y cuando no se encuentre en déficit para cumplir con el contrato.

Se puede observar que las variables que predominan, es decir, que afectan al proyecto en mayor medida, son la eficiencia de la captación, tipo de cambio, período de pago del

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

contrato RenovAr, error de estimación de producción de biogás, y período de pago del MATER.

De estas variables, sólo algunas pueden ser mitigadas, dado que tanto el tipo de cambio como los periodos de pago no corresponden directamente al proyecto, sino que son riesgos de los cuales es difícil cubrirse. La posibilidad de cobrar los pagos a cambio de una prima no es posible, dado que ninguna entidad está dispuesta a arriesgarse a los atrasos de pago de CAMESA. La importancia de esta variable radica en la inversión en capital de trabajo que implica un retraso en los pagos, siendo considerablemente importante dada la jerarquía alcanzada por esta variable en el gráfico mostrado anteriormente. Sin embargo, para el caso de la eficiencia de captación existe la posibilidad de mitigar los riesgos, siendo esta descrita más adelante.

4.3 SIMULACIÓN DE MONTECARLO (INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS)

La primera simulación realizada consiste en la estimación del precio de venta por MW del contrato RenovAr al cual se debe licitar para tener un 50% de probabilidad de tener un VAN negativo o positivo. En este caso, no se tuvo en cuenta el contrato MATER que se menciona previamente ya que se va a comparar estas diferentes situaciones. El resultado obtenido, luego de realizar la simulación con el software Crystal Ball, es el siguiente:

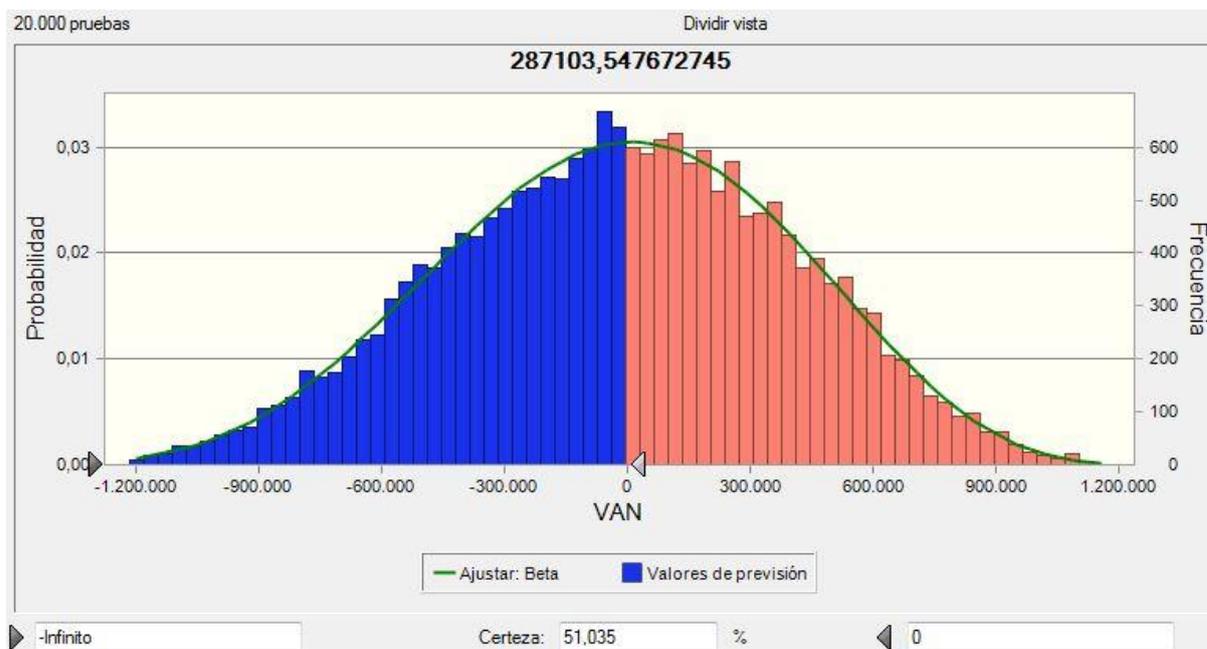


Figura 4.3.1. Simulación de Montecarlo para el escenario RenovAr.

Simulación	Escenario RenovAr
Precio RenovAr	121,4
Número de simulaciones	20000
VAN medio	-20.293
VAN mínimo	-1.474.575
VAN máximo	1.180.337
Desvío	427.141
Probabilidad VAN<0	51,04%

Tabla 4.3.1. Resumen de la simulación de Montecarlo para el escenario RenovAr.

En él se observa que con un precio de licitación de RenovAr de 122,33 U\$D el VAN resulta tener una probabilidad de ser positivo de aproximadamente el 50%. Se puede observar que los datos obtenidos tienen un comportamiento muy similar a una distribución normal. Utilizando el Crystal Ball, se decidió verificar cual es la distribución que mejor aplicaba y se obtuvo el siguiente análisis:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	0,2751	---	Mínimo=-1,719,950,Máximo=1,357,081,Alfa=6.5
Weibull	2,3485	0,000	Ubicación=-1,579,948,Escala=1,718,826,Forma
Normal	12,4986	0,000	Media=-20,293,Desv est=427,141
Logarítmico nor	12,5183	0,000	Ubicación=-3,370,731,418,Media=-20,293,Desv
Gamma	16,2575	0,000	Ubicación=-13,554,965,Escala=13,548,Forma=9
Logística	36,7462	0,000	Media=-15,173,Escala=248,565
Extremo mínimo	138,9563	0,000	Más probable=190,992,Escala=402,481
Extremo máximo	244,0369	0,000	Más probable=-235,791,Escala=424,225
Beta PERT	258,8066	---	Mínimo=-1,487,468,Más probable=91,834,Máxi
Triangular	393,9979	---	Mínimo=-1,487,468,Más probable=91,834,Máxi
t de Student	498,6538	---	Punto medio=-20,293,Escala=180,770,Grados d
Uniforme	2.256,266	0,000	Mínimo=-1,474,708,Máximo=1,180,470
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Tabla 4.3.2: Bondad de ajuste para la variable VAN.

Según el test de Anderson-Darling, la distribución Beta es la que mayor bondad de ajuste tiene a los datos obtenidos mediante la simulación.

Luego, se procedió a analizar el precio para que se vuelva a cumplir la condición de 50% de probabilidad de VAN negativo para los otros dos escenarios que se analizan más adelante en profundidad. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Simulación	Escenario RenovAr + MATER 1	Escenario RenovAr + MATER 2
Precio RenovAr	125,8	114,8
Número de simulaciones	20000	20000
VAN medio	-461.032	-1.695.831
VAN mínimo	-6.828.338	-15.987.120
VAN máximo	3.237.038	4.368.550
Desvío	1.743.558	3.955.940
Probabilidad VAN<0	50,6%	48,19%

Tabla 4.3.3. Resumen de la simulación de Montecarlo para el escenario RenovAr con MATER 1 y con MATER 2.

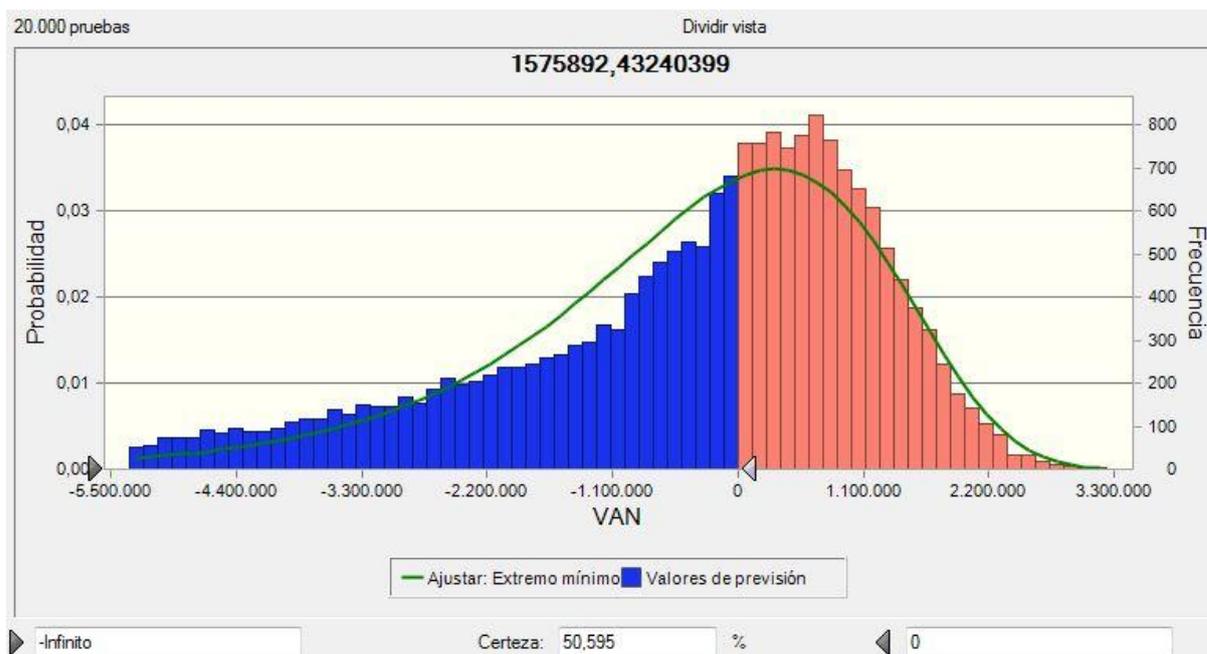


Figura 4.3.2. Simulación de Montecarlo para el escenario RenovAr con MATER 1.

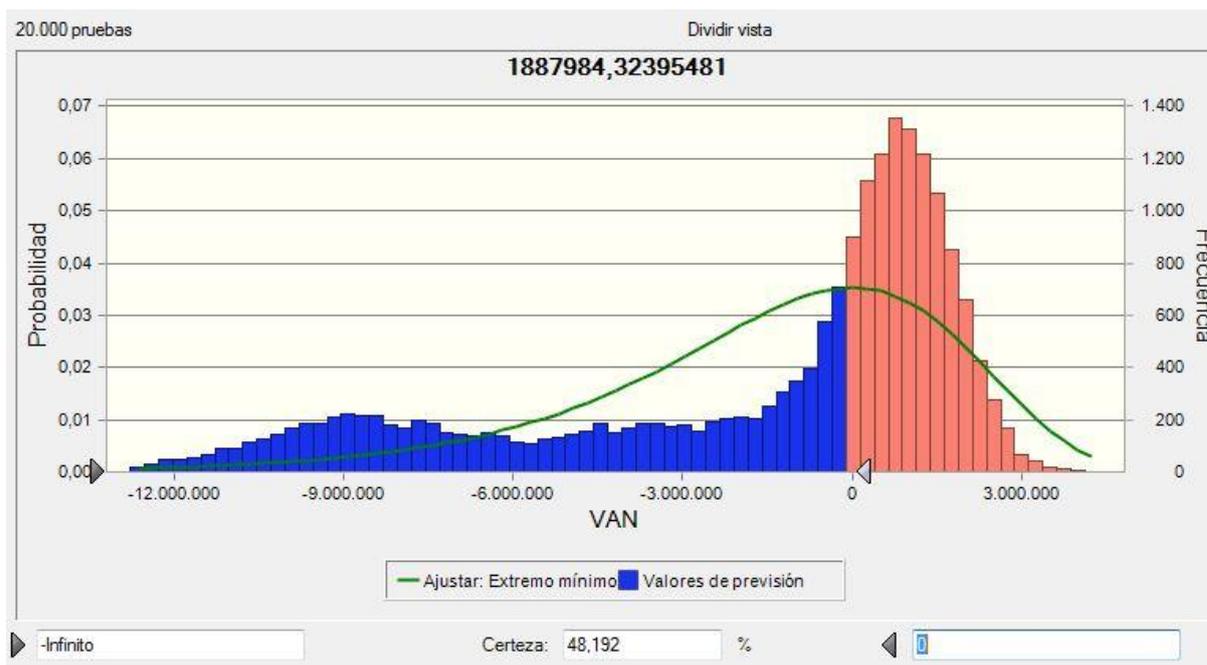


Figura 4.3.3. Simulación de Montecarlo para el escenario RenovAr con MATER 2.

En ambos casos, se puede observar que a la izquierda tiene una "cola" que se extiende hasta valores muy bajos, llegando incluso hasta los 14 millones de dólares negativos. Estos gráficos se pueden explicar a través de un factor que es muy importante a la hora de analizar la rentabilidad, y es la existencia de multas ante el incumplimiento de algún contrato. Si bien en el escenario donde únicamente actúa el contrato RenovAr esto no

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

aparece, se debe a que la cantidad de biogás disponible alcanza hasta siendo pesimistas para abastecer la cantidad establecida. Sin embargo, a la hora de realizar el MATER, se intenta aprovechar dicho exceso, lo que puede generar que en algunos casos al intentar usar lo más posible, se puede comprometer a cumplir un contrato que luego no logra abastecer. En este punto entra en juego la eficiencia de la captación, variable de riesgo que resultó ser en el tornado chart la más relevante. Más adelante desarrollaremos la estrategia de mitigación para resolver este problema.

También cabe destacar que el precio para obtener un $VAN > 0$ con 50% de probabilidad, aumenta con respecto al escenario sin MATER en el caso del MATER 1 pero disminuye en el caso del MATER 2. Esto se debe a que con el MATER 1, no se logra cubrir todos los gastos con la venta estimada, por lo que para cubrir los gastos y las posibles multas se debe firmar un contrato más caro. Caso contrario, con el MATER 2, el precio es menor. En este caso, un contrato en el MATER ya resulta rentable por cuenta propia, lo que aumentaría las posibilidades de ganar la licitación debido a poder ofrecer un precio más competitivo. Es por esto por lo que para el proyecto en sí se va a focalizar en el MATER 2.

Es adecuado mencionar en este momento que no se está proponiendo un precio a licitar en el contrato RenovAr igual a 120 USD, sino que es a partir de este valor que el proyecto resulte económicamente atractivo. Al final de esta etapa se va a llegar al valor ideal que se presentaría en la licitación correspondiente.

En estos casos, se puede observar en estas campanas que el riesgo de las multas es elevado, dado que el lado izquierdo de la campana se debe a las multas que deben abonarse en caso de no cumplir con el MATER o con el RenovAr. Para lograr una campana con menor variabilidad, se procedió a buscar estrategias de mitigación, explicadas a continuación.

4.4 COBERTURA DE RIESGOS

4.4.1 Cubrimiento de relleno sanitario para disminuir filtraciones de biogás al entorno

Existen diversas opciones a la hora de cubrir los rellenos sanitarios. Éstas se diferencian según su función. Algunas sirven simplemente para minimizar el olor y evitar que los residuos se esparzan por la zona, mientras que otras sirven como barrera impermeable, al evitar filtraciones de líquidos y gases al espacio que rodea al relleno sanitario.

La selección de la cobertura es muy importante ya que no sólo impide que el agua de lluvia ingrese al relleno, lo que aumentaría la cantidad de lixiviado a tratar, sino que también sirve para coleccionar y remover el biogás generado.

A la hora de evaluar aquellas opciones que previenen filtraciones de biogás al exterior, se pueden encontrar distintas coberturas que varían según su eficiencia. Según expertos de la Universidad de Florida Central, las geomembranas permiten alcanzar una eficiencia del 90%, en comparación con otras opciones como la cobertura diaria, que sólo permite una eficiencia del 75% (Amini, H., 2012).

Además, a partir de estudios realizados, las geomembranas poseen muy buena resistencia química frente a los lixiviados, por lo que resulta otro punto a favor, dado que debe estar expuesta a estos líquidos por un prolongado período de tiempo.

Hasta que el relleno sanitario no queda asentado, la cobertura debe ser capaz de resistir las tensiones que se producen. Por lo tanto, un aspecto muy importante es la flexibilidad de la capa. Por lo general, el material más utilizado para la geomembrana es el HDPE. Sin embargo, no resulta el más indicado si se precisa que la geomembrana resista condiciones de tensión. En este caso, se suele usar PVC, LDPE, fPP o VLDPE.

Debido a su compromiso con el cuidado del medio ambiente, Alemania posee una política de gestión de RSU que tiene como última opción la disposición final. Sin embargo, cierto porcentaje de la producción de biogás de este país proviene de rellenos sanitarios, por lo que intentan aplicar las mejores prácticas para atender en menor medida contra el medio ambiente y aumentar la eficiencia de captación, que es una de las principales problemáticas de este tipo de energía renovable. Por lo tanto, se decidió tomar en

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

consideración las regulaciones que este país posee respecto al uso de geomembranas, y adaptarlas según las opciones locales.

En cuanto al material a utilizar, sólo se permite el uso de HDPE, debido a su gran resistencia química y su durabilidad. Además, deben tener en lo posible un mínimo grosor de 2 mm para ser más resistentes a posibles daños. Dado que, en la etapa de construcción del relleno, la geomembrana está expuesta al sol, ésta debe ser resistente a los rayos UV, dado que éstos pueden alterar su desempeño y disminuir su eficiencia.

Para la selección de la geomembrana, se consultaron precios internacionales y a proveedores locales, tales como Coverfilm, y se optó por una geomembrana de HDPE. Dado que el espesor máximo que la empresa ofrece es de 1,5 mm, se decidió proseguir con esta opción. El rollo de 5m de ancho por 50 m de largo tiene un precio de 61 dólares. Como las dimensiones a cubrir son de 102 hectáreas, el costo total sería de 250.000 dólares.

Luego de la instalación de la geomembrana, los parámetros de la variable asociada, eficiencia de captación, son:

Variable	Eficiencia de captación sin geomembrana	Eficiencia de captación con geomembrana
Razón	%	%
Distribución	Normal	Normal
Mínimo	20.00%	80.00%
Máximo	80.00%	95.00%
Media	62.00%	90.00%
Desvío	10.00%	3.00%

Tabla 4.4.1.1: Comparación de la variable 'Eficiencia de captación' antes y después de la mitigación de riesgos.

Es importante mencionar que no solo existe esta posibilidad para aumentar la eficiencia de captación, sino que la misma fue comparada con el incremento en el número de pozos a realizar en el relleno sanitario. En este caso para lograr valores competitivos con las eficiencias alcanzadas manteniendo el número de tubos más la geomembrana, hace falta una inversión de gran magnitud en infraestructura tanto para los pozos, sino también para redes y subestaciones además de otros gastos aparejados. A mayor nivel de detalle y tomando en cuenta tan solo los costos de inversión de pozos, red perimetral y subestaciones, la inversión termina siendo poco mayor a un 21% en comparación con la

posibilidad de la geomembrana. En caso de una inversión igual en pozos como en geomembrana se llega a un valor de captación medio levemente menor al valor mínimo alcanzado con la geomembrana, por ende esta opción sería claramente inferior. Esto sin tomar en cuenta que con un gran número de tubos a lo largo del relleno, el crecimiento de la eficiencia de captación deja de ser lineal, tendiendo a existir una asíntota; llevando a un crecimiento teórico aún menor. En otras palabras, la inversión debe ser aún mayor a la estimada con estos números y por ende se desechó esta posibilidad. La cual más allá de tener mayor flexibilidad por el número de tubos, resulta de un costo superior y posee una incerteza mayor con respecto a su captación, ya que las estimaciones se realizaron con valores medios, aunque al observar el rango de valores que obtienen la captación con o sin geomembrana, se ve un riesgo considerablemente mayor al depender únicamente de tubos para la eficiencia en la captación. Por esta razón fue que la opción de geomembrana fue seleccionada por sobre la posibilidad de implementar mayor cantidad de tubos.

4.4.2 Purificación de biogás

Una de las variables que podría mitigarse es la pureza del biogás. Dado que el dióxido de carbono es el segundo componente más abundante, muchas de las tecnologías vinculadas a la purificación del biogás se basan en remover el dióxido de carbono presente.

La técnica más utilizada para este fin se denomina Water Scrubbing, la cual consiste en utilizar agua, dado que el dióxido de carbono es más soluble en agua que en metano. La corriente de biogás alimenta una columna y se lava con una contracorriente de agua que desciende por la columna. Por lo general, la columna está rellena con algún material para aumentar el área de contacto y favorecer la absorción de dióxido de carbono. El dióxido de carbono se disuelve en el agua, y luego se bombea a una columna de regeneración, donde se libera dióxido de carbono, mientras que la corriente de metano purificada (con una pureza de hasta el 98%) debe secarse después de dejar la columna (Grande, C. A., 2011).

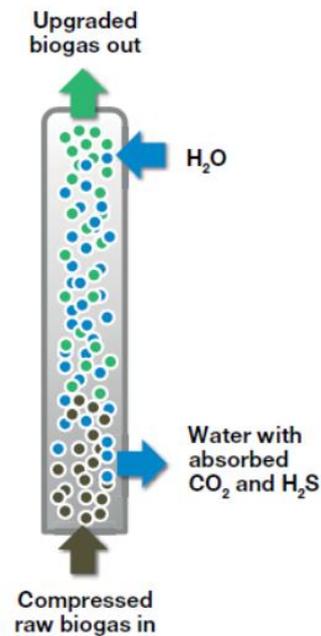


Figura 4.4.2.1. Columna para purificación de biogás.

Es importante aclarar que la purificación no tendría ningún sentido si no se consigue mayor cantidad de biogás. Es decir, con la misma cantidad de biogás, el poder calorífico sería el mismo, pero teniendo en cuenta que la composición de biogás es menor al 40%, los rendimientos de las máquinas serían menores. En cambio, a pesar de tener el mismo flujo de biogás con otra composición, los rendimientos de las máquinas no se verían afectados.

Por ejemplo, para poder producir 61320 MWh, se necesita de 53 millones de metros cúbicos de biogás con 40% de pureza. Este volumen debe reducirse sin afectar el poder calorífico que tiene, es decir, solo quitar las impurezas para que el biogás aumente su composición en metano.

En el peor de los casos, la pureza promedio anual del biogás será del 40%. Tomando esta pureza como límite mínimo, los costos para poder asegurar una composición mayor al 50% serían de (EPA, 2015):

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Costos de instalación de purificador de biogás (\$ al 2020)	
Equipamiento y flete	75530000
Materiales de construcción	8750000
Instalación	27370000
Tuberías y otras conexiones	81000
TOTAL	111731000

Tabla 4.4.2.1. Costos para la instalación del purificador de biogás.

Mientras tanto, los costos de mantenimiento y operación asociados son estos:

Costos de O&M purificación de biogás (\$ al 2021)	
Materiales adicionales	280000
Costos generales de O&M	2890000
TOTAL	3170000

Tabla 4.4.2.2. Costos de operación y mantenimiento del sistema de purificación de biogás.

Variable	%CH4 en biogás	%CH4 en biogás
Razón	%	%
Distribución	Normal	Normal
Mínimo	40.00%	50.00%
Máximo	60.00%	60.00%
Media	50.00%	55.00%
Desvío	10.00%	10.00%

Tabla 4.4.2.3. Comparación de la variable '%CH4 en biogás' antes y después de la mitigación de riesgos

4.4.3 Compra de biogás a otras empresas generadoras

Otra de las posibilidades de cobertura de riesgos es la compra de biogás a empresas que estén en el mismo predio del CEAMSE. Sin embargo, no se cuenta con información suficiente para poder establecer un precio al biogás, ni tampoco si estas empresas tienen disponibilidad de biogás. Por estos motivos, no se pudieron estimar las restricciones de esta mitigación, si bien podría haber resultado muy beneficiosa para el proyecto si se encontraba dentro de las condiciones favorables.

Respecto a las variables de periodo de pago (RenovAr y MATER) se comentó anteriormente que son difíciles de mitigar, dado que no se encuentran bancos dispuestos a asumir el riesgo que implica descontar facturas con probabilidades de retraso.

4.5 IMPACTO DE LA COBERTURA DE RIESGOS EN LA RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Al considerarse estas coberturas de riesgo, debe estudiarse el impacto sobre la distribución posible de los VAN del proyecto. El primer análisis del impacto generado por la estrategia de mitigación consiste en el análisis de la geomembrana, tanto para el escenario MATER 1 como el MATER 2 para demostrar su efecto en ambos casos y así justificar la decisión de qué escenario se debe continuar trabajando.

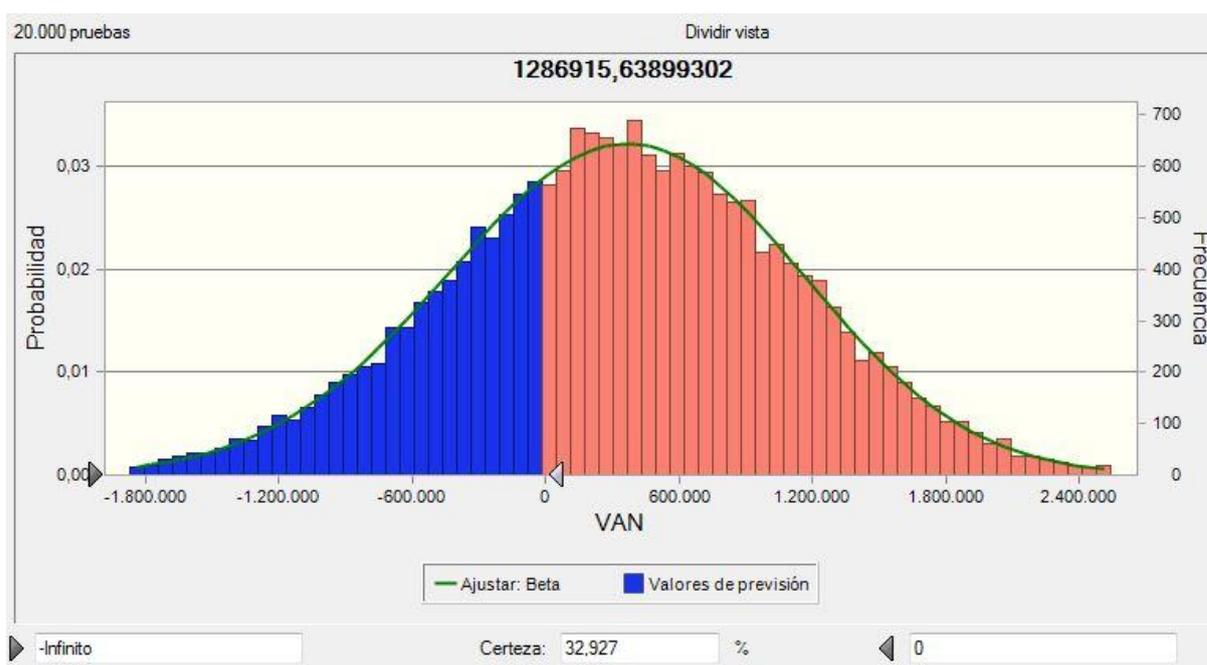


Figura 4.5.1. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 1 y uso de geomembrana.

Simulación	Escenario RenovAr + MATER 1	Escenario RenovAr + MATER 1 + geomembrana
Precio RenovAr		125,8
Número de simulaciones		20000
VAN medio	-461.032	336.413
VAN mínimo	-6.828.338	-2.808.113
VAN máximo	3.237.038	3.105.206
Desvío	1.743.558	778.401
Probabilidad VAN<0	50,6%	32,93%

Tabla 4.5.1. Comparación de los escenarios RenovAr con MATER 1 con y sin la utilización de geomembrana

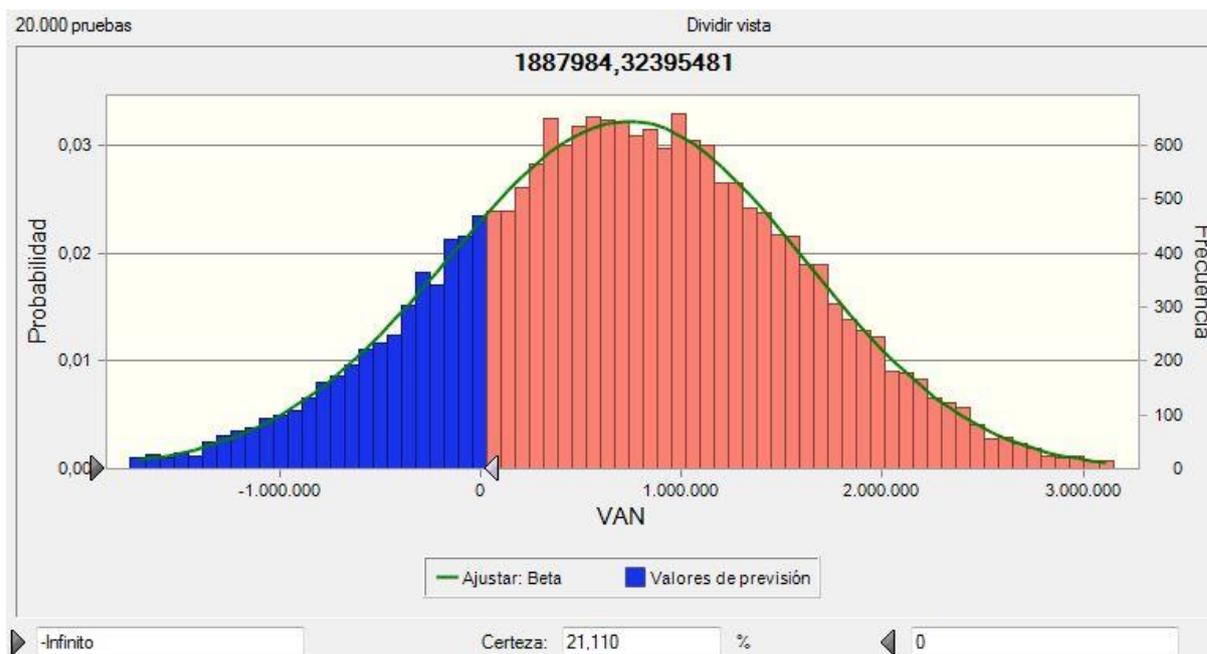


Figura 4.5.2 Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2 y uso de geomembrana.

Simulación	Escenario RenovAr + MATER 2	Escenario RenovAr + MATER 2 + geomembrana
Precio RenovAr		114,8
Número de simulaciones		20000
VAN medio	-1.695.831	704.099
VAN mínimo	-15.987.120	-2.514.018
VAN máximo	4.368.550	4.171.272
Desvío	3.955.940	873.175
Probabilidad VAN<0	48,19%	21,11%

Tabla 4.5.2. Comparación de los escenarios RenovAr con MATER 2 con y sin la utilización de geomembrana.

Como se puede observar en ambos casos, dicha solución es un éxito. A través de una inversión inicial, se logró eliminar la "cola" debida a las multas por incumplimiento de los contratos, resultando en gráficos bastante simétricos con una variación mucho menor. A su vez, se logra aumentar la probabilidad de obtener un VAN mayor a 0 a lo largo del proyecto.

Luego, pasamos al análisis de la purificación del biogás. Una vez establecida las condiciones en el Excel, a través del Crystal Ball se realiza la simulación para ver si realmente vale la pena realizar esta inversión. Debido a que usando MATER 2 resulta

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario más rentable, desde este momento analizaremos las propuestas centrándonos en dicho proyecto.

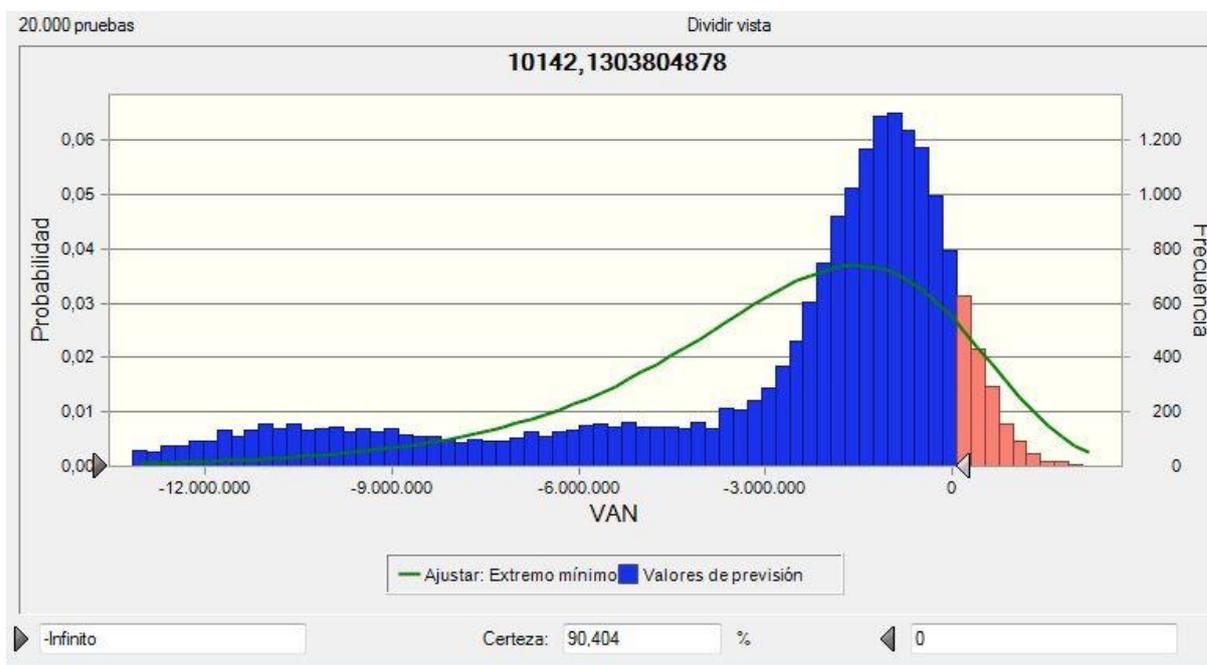


Figura 4.5.3. Simulación de Montecarlo para el escenario RenovAr con MATER 2 con purificación.

Simulación	Escenario RenovAr + MATER 2	Escenario RenovAr + MATER 2 + purificación
Precio RenovAr	114,8	114,8
Número de simulaciones	20000	20000
VAN medio	-1.695.831	-3.048.242
VAN mínimo	-15.987.120	-18.033.726
VAN máximo	4.368.550	2.312.927
Desvío	3.955.940	3.612.707
Probabilidad VAN<0	48,19%	90,4%

Tabla 4.5.3. Comparación de los escenarios RenovAr con MATER 2 con y sin purificación

Como se observa en la tabla comparativa, la realización de dicha inversión no genera mejora alguna, debido a que disminuye el máximo VAN posible y el mínimo y se tiene una probabilidad de tener VAN negativo del 95%. Al parecer se genera un aumento en los costos que no llega a ser cubierto por dicha medida, razón por la cual se descarta. A su vez, al no surgir como una de las variables más relevantes en el tornado chart no se considera necesario buscar otra forma para atacar la variable.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

A partir del análisis de ambas medidas, se concluye que para la realización del proyecto es necesario la utilización de la geomembrana mientras que la purificación no se considera debido a sus altos costos y su nulo impacto positivo en el cálculo del VAN.

4.6 ESCENARIOS

Dentro de este proyecto, se estudian escenarios que pueden llegar a afectar la rentabilidad. Algunos ya fueron mencionados, mientras que otros se introducen a continuación.

Como se vio en el inciso anterior, se propuso empezar con un único contrato MATER 1, con un plazo de 9 años. Sin embargo, el exceso de biogás en los primeros años permite la posibilidad de aumentar la potencia de la planta, siempre y cuando se verifique que el nodo receptor de la energía no se encuentre saturado. El segundo escenario (MATER 2) consiste en dividir estos 9 años de contrato en dos contratos más cortos, para optimizar el uso del exceso de biogás. Estos dos casos ya fueron mencionados en la simulación inicial de Montecarlo, y se analizó en la mitigación debido a que estos escenarios resultan esenciales para el análisis del proyecto. A continuación, se ve representado a modo estimativo la cantidad de biogás disponible junto con la cantidad aprovechada con cada escenario:

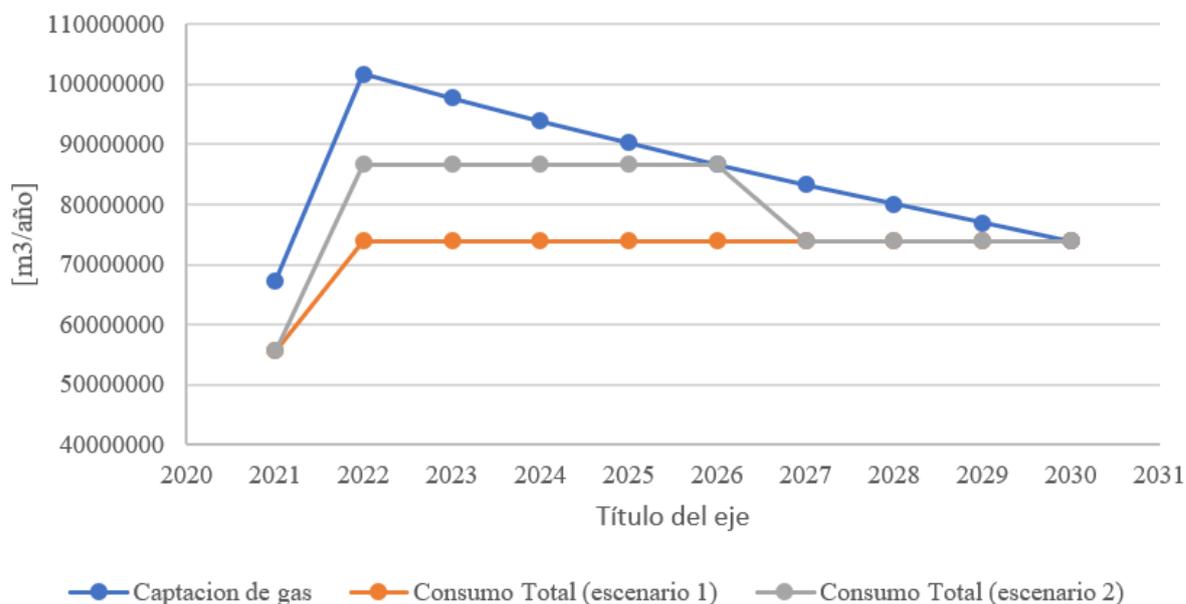


Figura 4.6.1. Captación de biogás y consumo de biogás, en m3/año, según el escenario.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Otro de los escenarios estudiados es el riesgo de pesificación de las tarifas. En este caso, se supuso que el precio, acordado inicialmente en dólares tanto en el RenovAr como en el MATER (años 2021 y 2022 respectivamente), se pesifican al año de iniciar la entrega de energía.

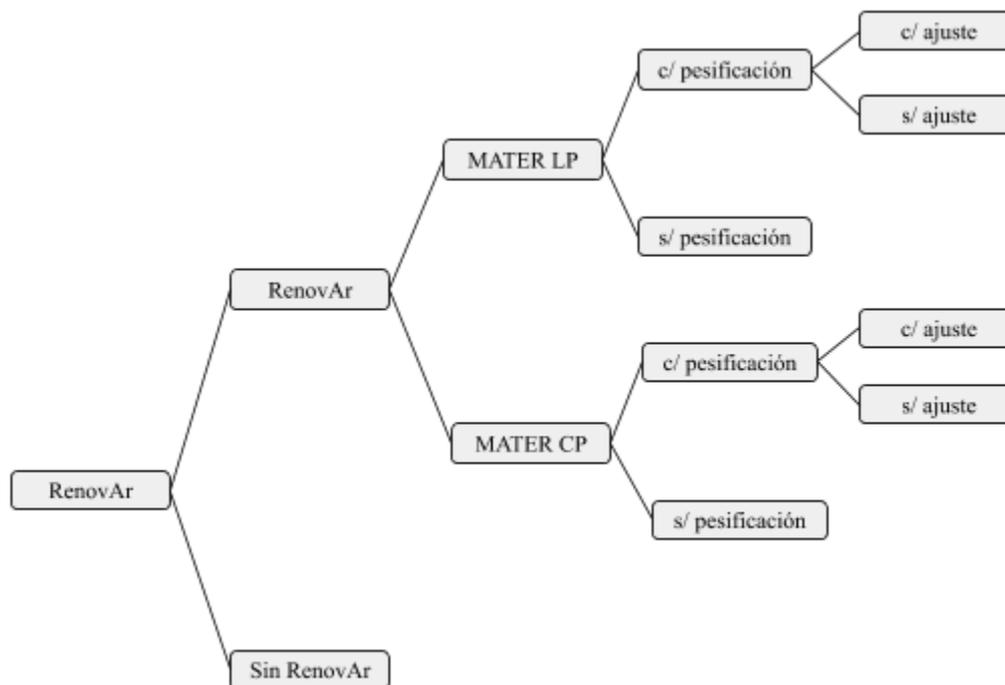


Figura 4.6.2. Ramificación de escenarios

Al comenzar con el análisis de los escenarios, debido a que el MATER 1 no resulta rentable por cuenta propia, se decidió trabajar sobre el escenario MATER 2. A partir de estos resultados se considera que, si se continúa realizando una disminución en la duración de los contratos, la cantidad de energía potencial disponible que se aprovecha aumenta. En definitiva, se supone que al hacer contratos más cortos se puede aumentar la rentabilidad del proyecto. Sin embargo, en este proyecto se analizará hasta estos dos casos de manera simplificada, pero si se desea hallar la cantidad óptima se debe desarrollar todos los escenarios posibles.

El segundo análisis es la comparación entre que ocurra una pesificación de las tarifas. En este caso, se supuso que las tarifas se actualizan según la inflación, situación poco probable en caso de decidirse pesificar las tarifas. En el caso donde se pesifican las tarifas, se evalúa si se realiza un ajuste de estas por medio de inflación o no. Estos casos se presentan a continuación. El análisis se realizó sobre el caso base de RenovAr + MATER

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

2 y considerando que la inversión en la geomembrana también se realiza debido a los grandes beneficios que tiene. Utilizando el Crystal Ball se obtuvo los siguientes gráficos:

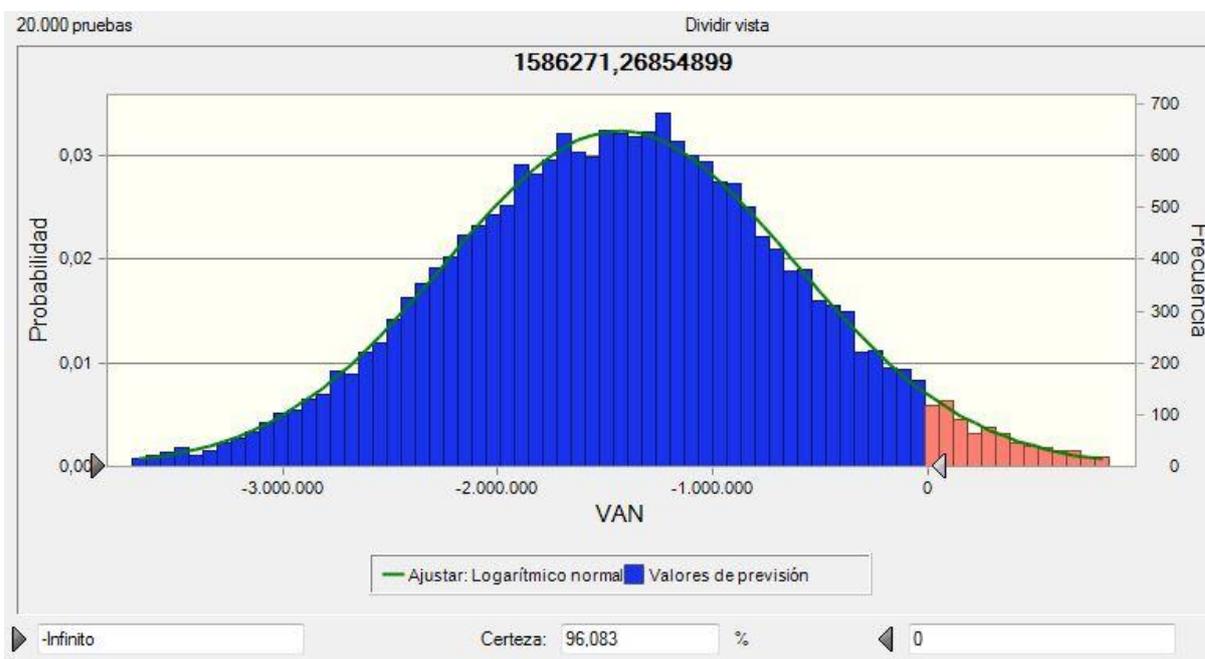


Figura 4.6.3. Simulación de Montecarlo para el escenario RenovAr con MATER 2, pesificación y ajuste por inflación.

Simulación	RenovAr + MATER 2 con pesificación y con ajuste por inflación
Precio RenovAr	114,8
Número de simulaciones	20000
VAN medio	-1.426.886
VAN mínimo	-4.403.436
VAN máximo	1.704.654
Desvío	812.598
Probabilidad VAN<0	96,08%

Tabla 4.6.1. Resumen de la simulación del escenario RenovAr con MATER 2, pesificación y ajuste por inflación.

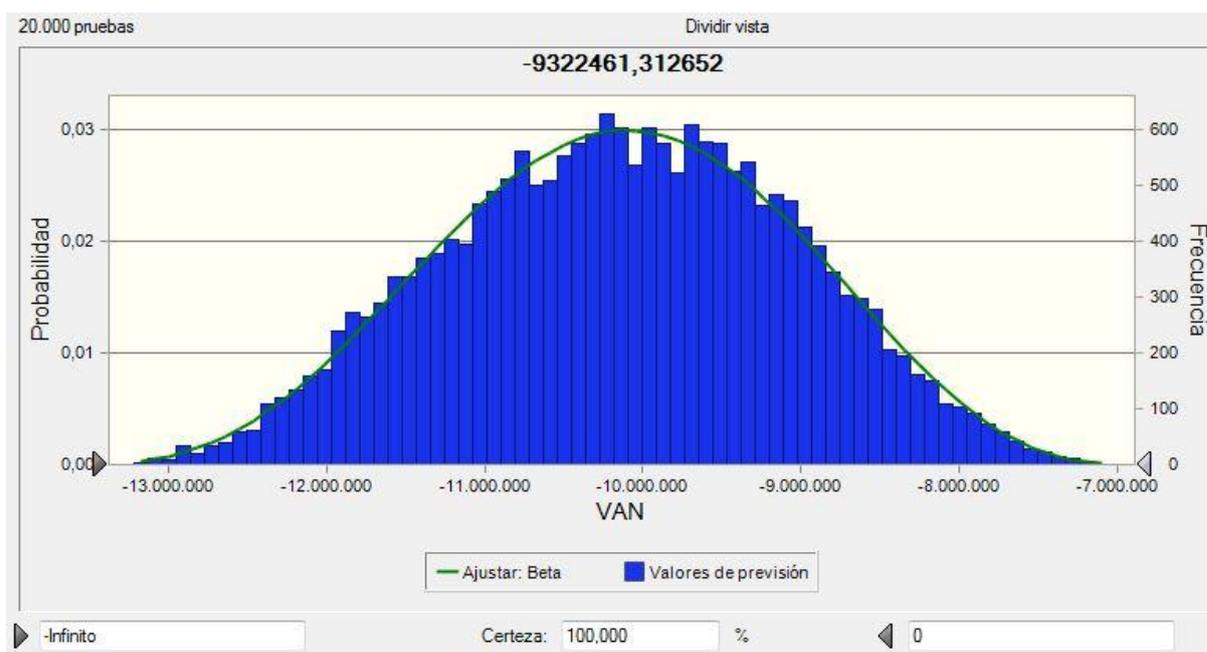


Figura 4.6.4. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2, pesificación y sin ajuste por inflación.

Simulación	RenovAr + MATER 2 con pesificación y sin ajuste por inflación
Precio RenovAr	114,8
Número de simulaciones	20000
VAN medio	-10.137.595
VAN mínimo	-13.989.972
VAN máximo	-6.176.377
Desvío	1.101.897
Probabilidad VAN<0	100%

Tabla 4.6.2. Resumen de la simulación para el escenario de RenovAr con MATER 2, pesificación y sin ajuste por inflación.

Como se podía esperar, en caso de pesificación, el proyecto se ve afectado negativamente en gran manera. Sin embargo, si se ajusta por inflación el precio (situación optimista, dado que, si se decide pesificar las tarifas, la probabilidad de que éstas se retrasan respecto a la inflación existe), aún tiene probabilidad de tener un VAN positivo, por más que las probabilidades sean pequeñas. No es el caso de pesificación y congelación de las tarifas (sin ajuste). En ese caso, el proyecto se encuentra condenado a fracasar ya que no tiene forma de cubrir los gastos necesarios para producir.

Además, se tiene en cuenta un escenario más: el no ingreso a los planes RenovAr, ya sea porque las políticas de gobierno suspenden todos los contratos, o porque no se gana la

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

licitación. En caso de no ingresar al programa, se supuso que el precio sería parecido al monómico, siendo en este caso un proyecto no rentable. Utilizando el Crystal Ball se obtuvo la siguiente campana:

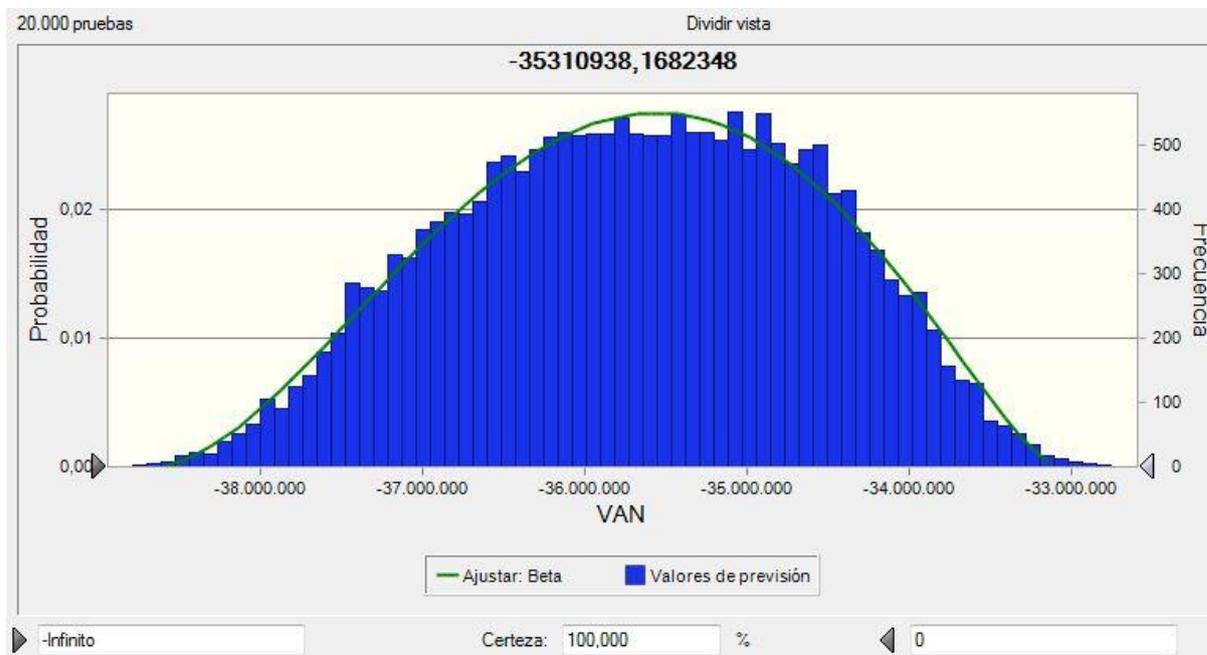


Figura 4.6.5. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr y MATER 2 en el que no se cumple la ley renovable.

Simulación	RenovAr + MATER 2 + no cumplimiento ley renovable
Precio RenovAr	precio monómico (variable)
Número de simulaciones	20000
VAN medio	-35.680.358
VAN mínimo	-38.873.849
VAN máximo	-32.755.740
Desvío	1.112.445
Probabilidad VAN<0	100%

Tabla 4.6.3. Resumen de la simulación del escenario de RenovAr y MATER 2 en el que no se cumple la ley renovable.

En este caso, el proyecto está condenado a fracasar desde el comienzo, teniendo en el caso más optimista una pérdida de más de 32 millones de dólares. Esto demuestra que el cumplimiento del contrato RenovAr es de suma importancia para el éxito del proyecto ya que la generación de energía por medios alternativos es costosa y si no existen beneficios no es para nada rentable. Cabe mencionar que se supuso que el precio RenovAr siguió el

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

precio monómico, por lo que de comprometer la central sólo a abastecer al MATER el resultado hubiese sido aún peor.

4.7 PRECIO DE LICITACIÓN

Luego de haber realizado la mitigación de aquellos riesgos que resultaban relevantes para el proyecto, se llega a la etapa del análisis del precio al cual licitar. Como ya se menciona, el escenario elegido es el de RenovAr + MATER 2 (dos contratos de 5 y 4 años) al cual se le realiza la inversión en la geomembrana y el estudio de suelos para reducir el riesgo latente de las variables correspondientes. En un principio se mencionó que, a partir de un valor de 120 USD por MW, el proyecto tiene un VAN esperado de 0, con igual probabilidad de tener un valor resultante positivo o negativo. Luego de la mitigación, se obtiene que el precio al cual se debe licitar para tener dicha probabilidad de VAN positivo o negativo es de 114,8. Como era de esperar, el precio disminuye con respecto al calculado sin la mitigación. A continuación se presenta la tabla correspondiente:

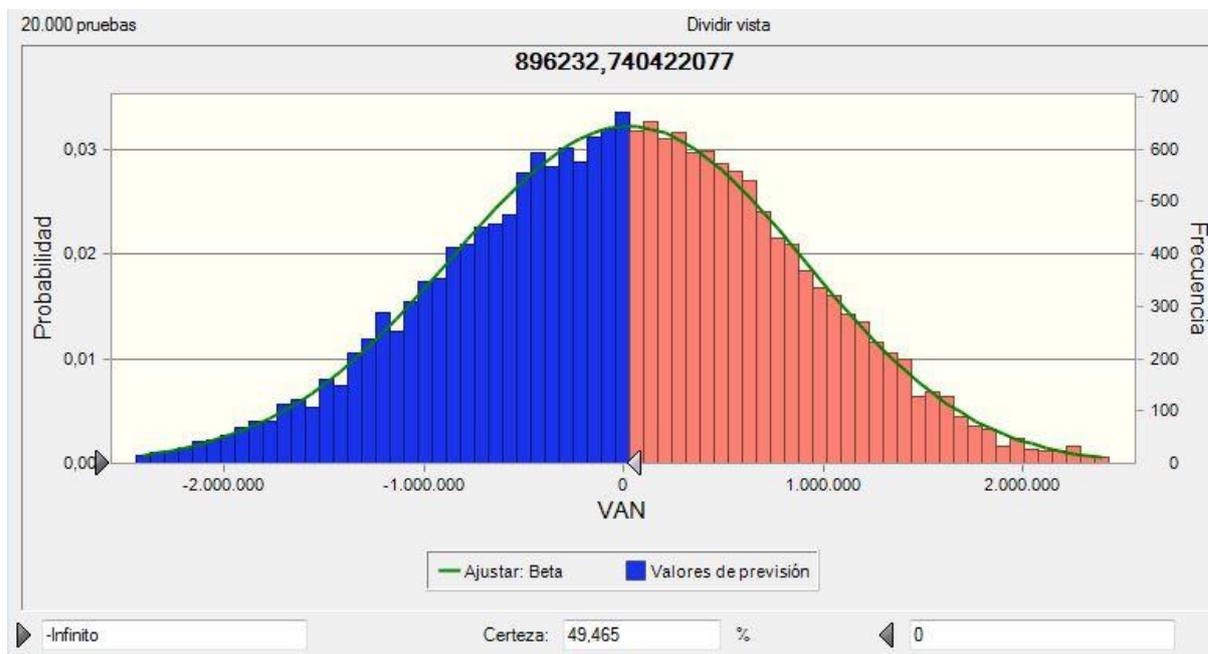


Figura 4.7.1. Simulación de Montecarlo para escenario MATER 2 con mitigación

Simulación	Licitación con mitigación
Precio RenovAr	112,8 U\$D
Número de simulaciones	20.000
VAN medio	-5.381 U\$D
VAN mínimo	-3.802.319 U\$D
VAN máximo	3.177.595 U\$D
Desvío	870.873 U\$D
Probabilidad VAN<0	49,47%

Tabla 4.7.1. Resultados obtenidos de la simulación de Montecarlo para escenario MATER 2 con mitigación

Sin embargo, no es ideal ofertar a este precio, sino que lo que se busca es asegurar no perder plata, ofertar el menor precio posible para aumentar las probabilidades de ganar la licitación. Considerando el efecto de la mitigación, es esperado que el precio disminuya debido a que el proceso se vuelve más eficiente, disminuyendo la probabilidad del VAN negativo, logrando la baja del precio.

Este precio de licitación debe asegurar no solo un VAN positivo, de este modo logrando ganancias sustanciales y haciendo viable al proyecto, sino que también lograr asegurar ganancias a los inversores. Esto genera una verificación para el proyecto, dando la posibilidad que el precio hasta ahora estipulado aumente. Este análisis se desarrolla en la sección de opciones reales.

4.8 IDENTIFICACIÓN DE OPCIONES REALES

A lo largo del proyecto, la empresa tiene la posibilidad de tomar distintas decisiones para adecuarse a las situaciones u oportunidades que se presenten. A medida que la empresa

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

recibe información que permite resolver de manera gradual la incertidumbre vinculada con los flujos de caja, la gerencia puede reaccionar en consecuencia para revisar y modificar sus estrategias iniciales.

Las opciones reales son una herramienta que toma en cuenta esta flexibilidad gerencial y tienen su mayor aplicabilidad en aquellos proyectos estratégicos, que tienen interdependencia con otros proyectos o acciones futuras y en los que se define un momento adecuado para tomar la decisión, por ejemplo, cuando el proyecto se puede diferir o cuando la ejecución de una fase del proyecto depende del éxito o fracaso de una fase anterior.

En este caso, existe una gran incertidumbre acerca de la realización del contrato MATER y la cantidad de contratos a realizar si ha de llevarse a cabo, por lo que resulta imprescindible obtener información a lo largo del proyecto para evaluar si resultará rentable o no, antes de cerrar el contrato y de realizar las inversiones pertinentes.

Una de las opciones reales que se plantea es la realización de un estudio cuya finalidad sería conocer la cantidad de energía que se podría generar a partir de la descomposición de los RSU depositados en el relleno sanitario. De esta forma se podría analizar la potencialidad del relleno para satisfacer el contrato MATER, para luego decidir si llevar adelante el contrato o no.

Dado que el relleno sanitario en cuestión comenzó a construirse en 2018, el estudio se basaría en estudios de calidad de los RSU realizados por el CEAMSE en años anteriores. Además, se realizan pequeñas perforaciones distribuidas equitativamente en el relleno, con el propósito de establecer cuáles son las zonas donde se espera que la concentración de metano sea mayor. Por último, se llevaría a cabo un muestreo de la basura que ingresa al relleno, que brindaría información sobre la composición de los residuos, y su capacidad y velocidad de generación de metano. El estudio se realizaría en el año 2020, tendría una duración de 6 meses, un precio de 10.000 dólares y el resultado obtenido tendría un intervalo de confianza del 95%.

La otra opción real propuesta es un análisis acerca de la rentabilidad del MATER. Puede suceder que el relleno tenga el potencial para satisfacer el contrato, pero que debido a las grandes inversiones, el precio y el período de pago, no sea suficiente para que el contrato

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

resulte rentable. Por lo tanto, con este análisis se logra evaluar este aspecto centrándose en las fluctuaciones del mercado, si el mismo avanza hacia los valores en los que convendría realizar las inversiones o si esto en realidad no ocurre, esto a cambio de la espera de un año para invertir en la infraestructura y demás para la generación centrada en las ventas a particulares.

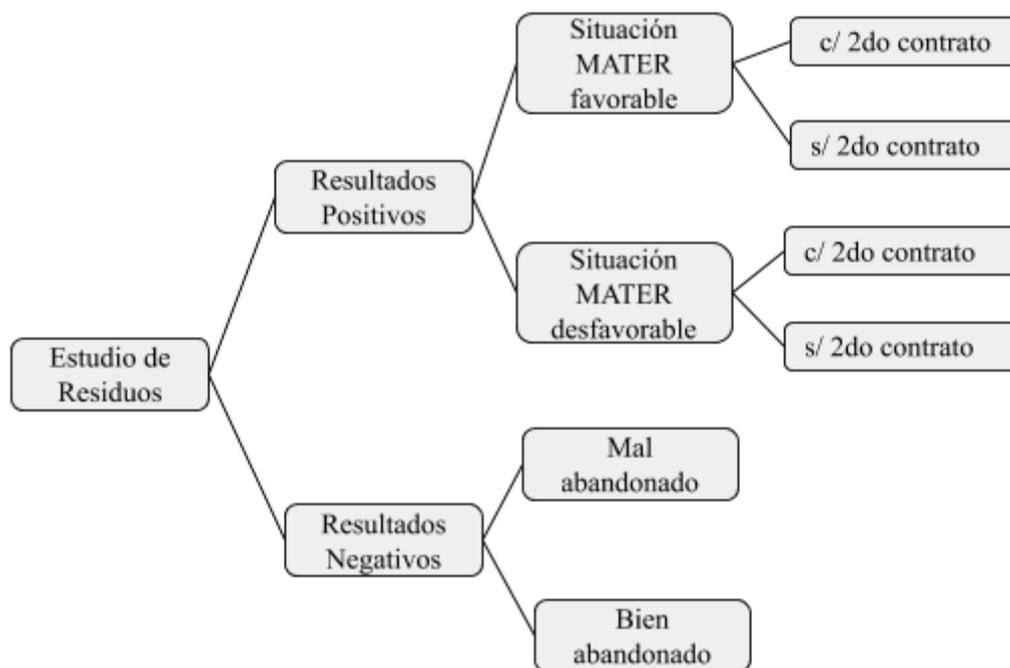


Figura 4.8.1 Esquema de la opción real.

4.8.1 Valoración de opciones reales

A continuación, se procederá a calcular el valor de las opciones reales, es decir, de llevar a cabo los dos estudios, y de esta forma establecer cuánto vale la información que brindan, mediante el uso de un árbol de decisión. Es importante aclarar que ambos estudios deben ser positivos para que se decida llevar adelante el contrato MATER. En caso contrario, si alguno de los estudios da negativo, no se realizará el contrato.

Como se explicó, el primer estudio a realizar es aquel vinculado con el potencial de los residuos del relleno sanitario para generar metano. A partir del análisis de las variables de composición del biogás como también la eficiencia de captación, se estableció que existe un 70% de probabilidades de que el relleno logre satisfacer el contrato MATER, mientras que hay un 30% de probabilidades de que no. Vale aclarar que al mitigar el

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

riesgo grande que causaba la captación del biogás mediante la geomembrana, la probabilidad de mayor peso de riesgo en este caso es la composición del biogás. Ambas variables se trataron a manera probabilística como variables independientes, sumando la probabilidad de que alguna de estas no cumpla con los valores necesarios, claro que sin contar por duplicado la circunstancia en que ambas ocurran en simultáneo.

Dado que el estudio posee un intervalo de confianza del 95%, la probabilidad de que el resultado del estudio de positivo es igual a 68% ($0,9570\%+0,0530\%$), mientras que la probabilidad de que de negativo es del 32% ($0,0570\%+0,9530\%$).

En caso de que el estudio resulte negativo, existe un 89% ($0,9530\%32\%$) de probabilidades de que éste haya acertado, y un 11% ($0,0570\%32\%$) de que el estudio de negativo cuando en realidad el relleno tenía suficiente potencial para abastecer el MATER.

Llegado el caso de que el estudio de positivo se procede a realizar el análisis más exhaustivo de la rentabilidad de los contratos MATER. A partir del análisis de las variables precio y período de pago del MATER, se definió que existe un 84% de probabilidades de que resulte rentable llevar a cabo el contrato y un 16% que esto no ocurra. Ambas variables se trataron de manera equivalente al estudio de suelo referido a las emisiones del biogás.

Por último, cuando ambos estudios resultan positivos, hay un 98% ($95\%*70\%/68\%$) de probabilidades de que se logre cumplir el contrato, y un 2% ($5\%*30\%/68\%$) de que esto no sea posible, ya que al dar por aprobados ambos estudios, se decide invertir y llevar a cabo el contrato MATER. Estas haciendo referencia a la probabilidad de fallar que se generan a partir del estudio de suelo.

En cada una de las circunstancias y tomando en cuenta que se opta por el escenario de dos contratos MATER de 5 y 4 años respectivamente, en el caso de ver con el primer contrato se terminó llegando a la opción en que el estudio fue erróneo y no se lograron los objetivos para dar como viable el contrato MATER, no se firmará el segundo contrato, mientras que en el 98% de los casos esto no ocurre y este mismo si es llevado adelante.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Una vez definidos los distintos caminos de decisión, se obtienen sus respectivos VAN y se obtiene que el valor de las opciones reales.

La primer simulación realizada, llamada caso uno, representa la rama superior del gráfico 4.8.1.1. Esta representa el caso más optimista de las simulaciones y con el precio hasta ahora definido para licitar se obtuvieron los siguientes resultados:

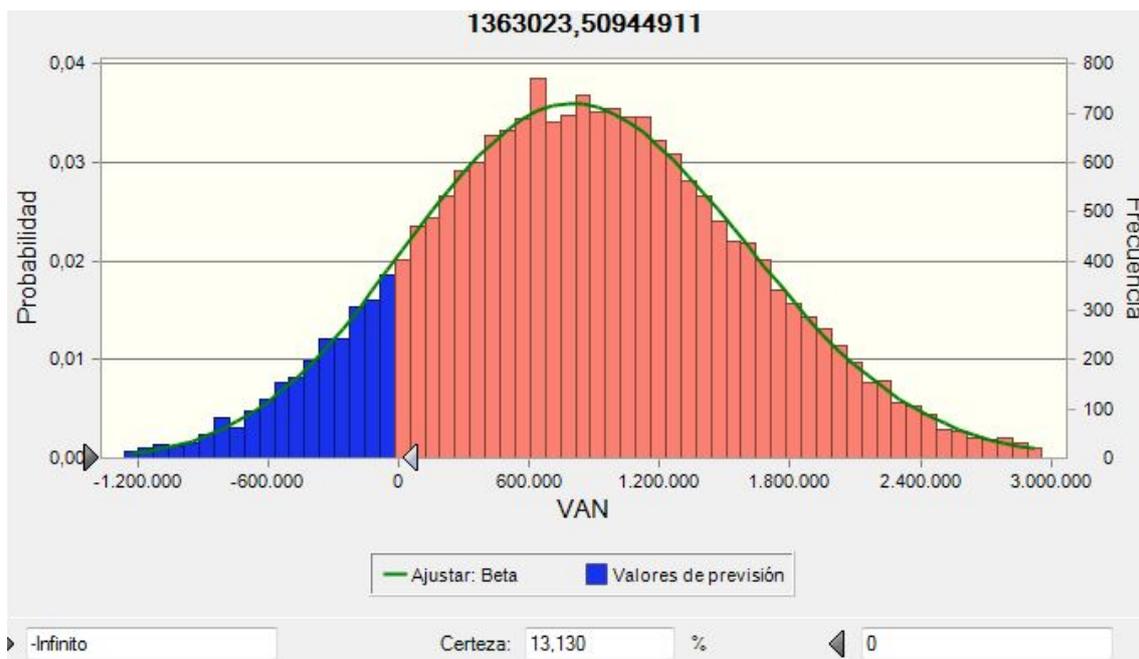


Figura 4.8.1.1. Simulación de Montecarlo para el VAN opciones reales de la rama más favorable.

Simulación	Opción real
Precio RenovAr	114,8 U\$D
Precio MATER	variable > 53 U\$D
Número de simulaciones	20.000
VAN	847.823 U\$D
VAN mínimo	-1.737.373 U\$D

VAN máximo	4.107.117 U\$D
Desvío	753.603 U\$D
Probabilidad VAN>0	86,87%

Tabla 4.8.1.1. Resultados de la simulación de opciones reales de la rama más favorable.

En estos se ve un VAN de 847.823 U\$D, con un nivel de probabilidad de VAN positivo de 86,87%. El inconveniente se observa al contemplar el valor medio del VAN del flujo de fondos del inversión es un valor de medio de -905.551 U\$D. El mismo se simula con los mismos parámetros y variables acotadas dando como resultado la siguiente campana:

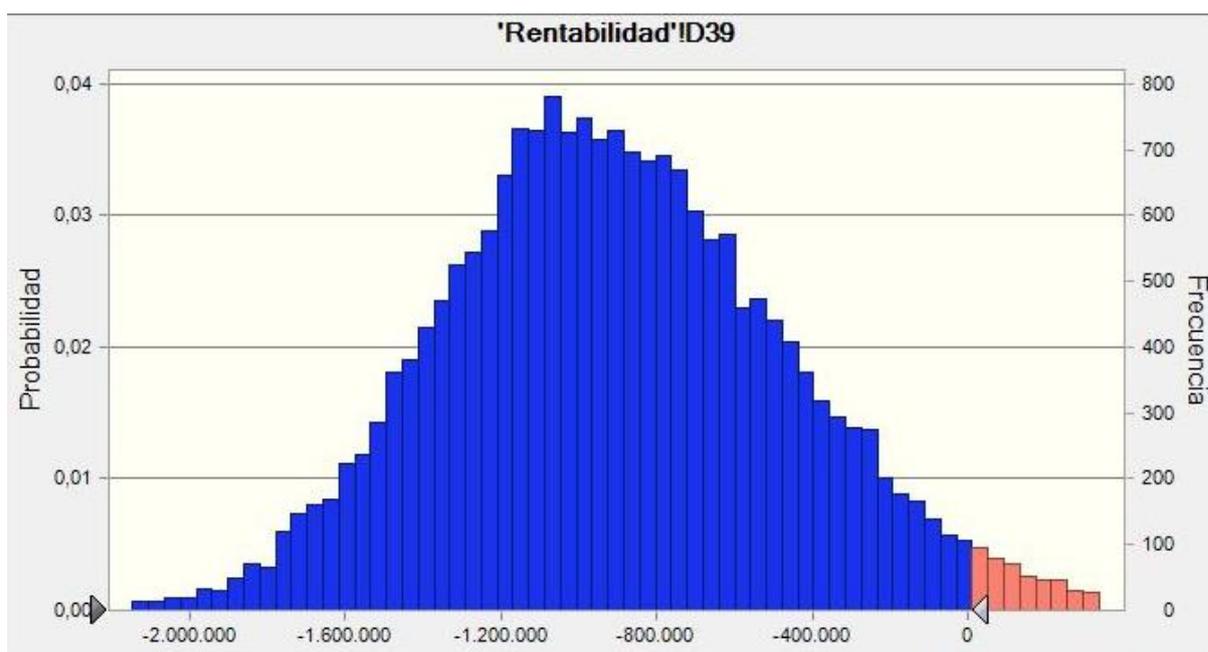


Figura 4.8.1.2. Simulación de Montecarlo para el VAN del CFE opciones reales de la rama más favorable.

Dado estos resultados, el atractivo para el inversor será afectado notablemente, por ende se estima un nuevo precio de licitación a partir del cual, con la mitigación ya implementada, y en el caso de realizar ambos contratos MATER, se logra un VAN positivo para el inversor. Este precio resulta ser de 123,2 U\$D por MW y los resultados de la respectiva simulación para definir este precio se muestra a continuación:

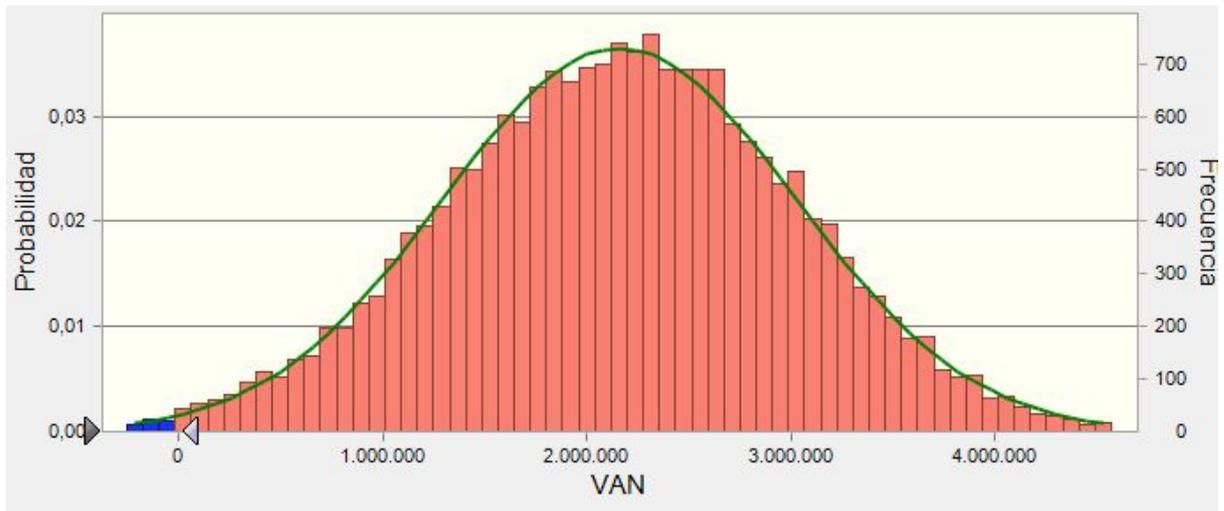


Figura 4.8.1.3. Simulación de Montecarlo del VAN para definir precio de licitación.

Simulación	Opción real
Precio RenovAr	123,2 U\$D
Número de simulaciones	20.000
VAN	2.158.338 U\$D
VAN mínimo	-1.376.660 U\$D
VAN máximo	5.417.111 U\$D
Desvío	861.225 U\$D
Probabilidad VAN>0	99,38%

Tabla 4.8.1.2. Resultados de la simulación del VAN para definir precio de licitación

Con estos resultados se logra una alta probabilidad de VAN positivo y favorable para el proyecto, logrando un centrado del VAN del inversor en 0. Incluso con las opciones reales, desarrolladas a continuación, se lograría una mejora.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Este nuevo precio es debido a la necesidad de generar una relación de compromiso entre el menor precio de licitación para lograr una mayor probabilidad de ganancia de la licitación y la ganancia del inversor para que el proyecto sea atractivo y logre captar inversores. Para lograr esto se fuerza un VAN positivo, siendo el precio para lograrlo el menor posible y de este modo incrementar las chances de ganar la licitación. Logrando de este modo balancear ambas necesidades del proyecto para su factibilidad.

Establecido este precio en base a la ya mencionada relación de compromiso, se realizan las simulaciones respectivas de cada una de las opciones reales. En primera instancia se vuelve a simular la rama más favorable de la opción real con el nuevo precio dando los siguientes resultados:

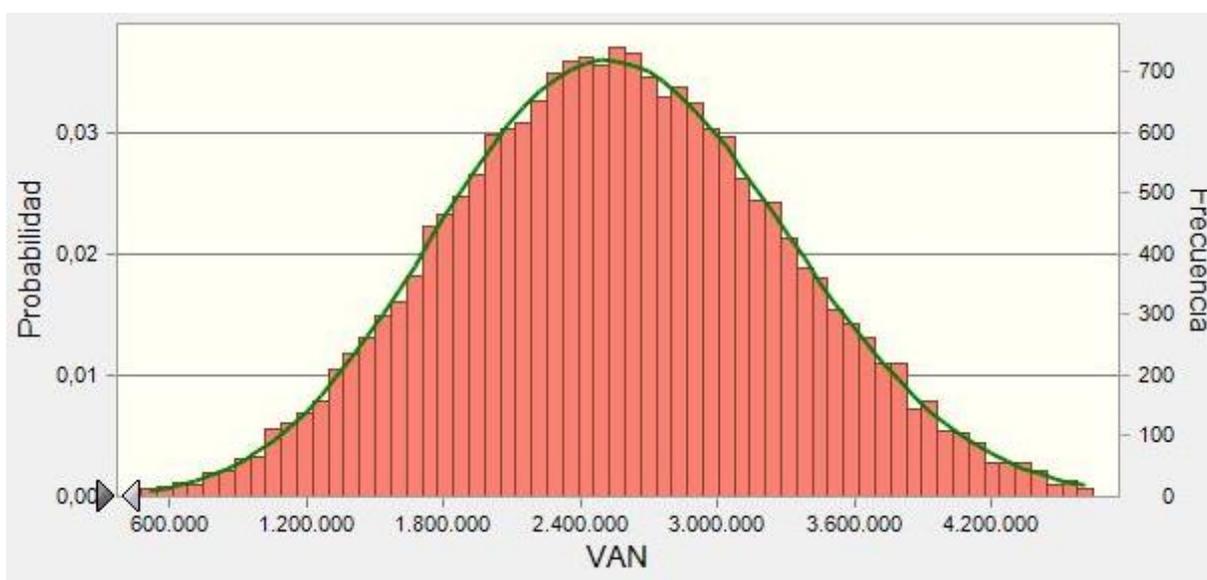


Figura 4.8.1.4. Simulación de Montecarlo para el VAN opciones reales de la rama más favorable con precio actualizado.

Simulación	Opción real
Precio RenovAr	123,2 U\$D
Número de simulaciones	20.000
VAN	2.558.543 U\$D

VAN mínimo	162.867 U\$D
VAN máximo	5.433.808 U\$D
Desvío	745.085 U\$D
Probabilidad VAN>0	100%

Tabla 4.8.1.3. Resultados de la simulación del VAN opciones reales de la rama más favorable con precio actualizado

Con estos resultados y dando una media de 365.743 U\$D en el VAN del inversor, se ve el crecimiento en el mismo y vale la pena el análisis con este precio para poder validarlo. Dado esto se muestran las demás simulaciones en un esquema con los VAN tanto del proyecto como de los inversores respectivos para cada una de las ramas a continuación:

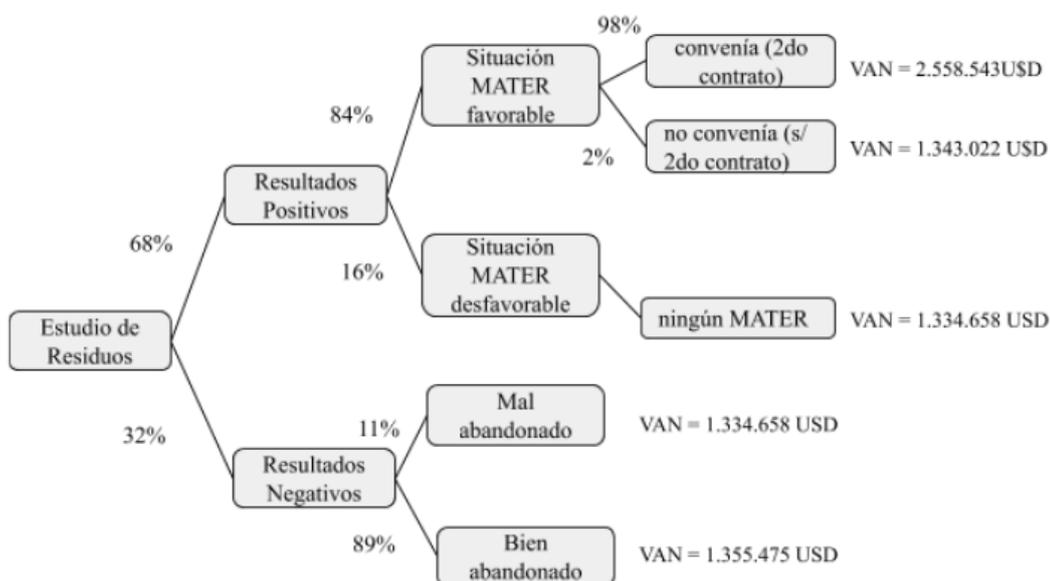


Figura 4.8.1.5. Esquema de la opción real para el VAN del proyecto.

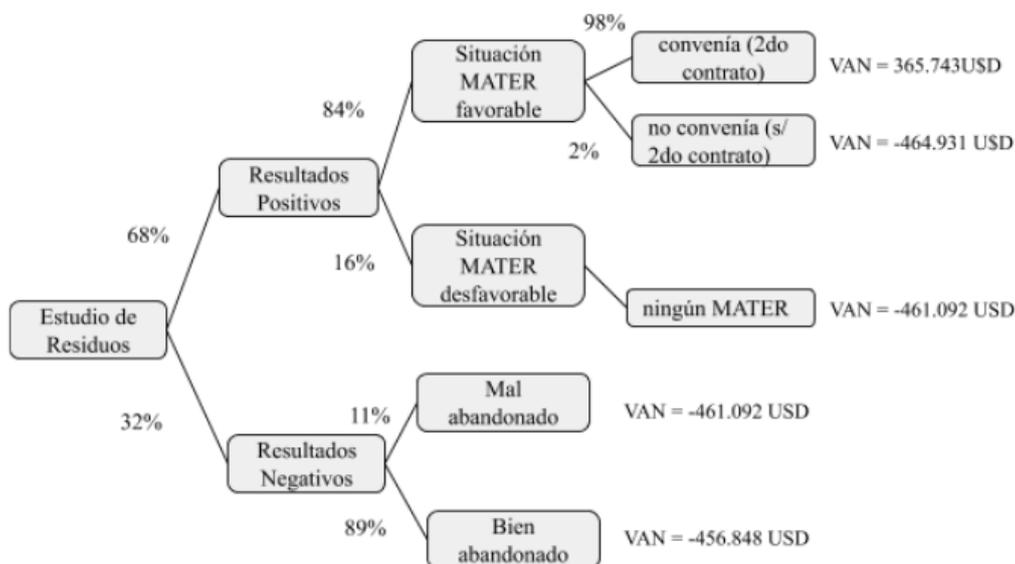


Figura 4.8.1.6. Esquema de la opción real para el VAN del inversor

Con cada VAN y su respectiva probabilidad se calculó el VAN final del proyecto con la aplicación de las opciones reales. Este terminó dando un valor de 2.026.452,12 U\$. A su vez el VAN del inversor finalizó con un valor de 1.939,20 U\$, apoyando el objetivo de asegurar en valor superior a 0 pero cercano, logrando el mínimo precio de licitación posible para cumplir con la exigencia.

Vale aclarar que en el camino donde el estudio de suelos dio resultados desfavorables, por ende, no se realiza el MATER, pero en realidad si era conveniente, se utiliza directamente el mismo resultado de VAN del caso donde sólo se haría el Renovar, habiendo dado el estudio de suelo de manera adecuada, es decir el caso donde el estudio MATER no resulta favorable y no se realizan los contratos MATER. También, vale aclarar que en el caso donde ambos estudios dieron positivos se realizaron el primer contrato MATER, pero en caso de ver que el mismo no es suficiente para abastecer, es decir, estamos dentro del posible error del estudio de suelos, no se realiza el segundo contrato MATER.

Con las opciones reales se redujo en gran medida el riesgo de perder dinero entrando al MATER por la realización de ambos estudios. El VAN del proyecto finalmente aumenta, mientras se logra mantener en valores positivos el del inversor. Además los riesgos que los contratos particulares generen pérdidas se reducen en gran medida. En cada una de las ramas se estipula tanto un mínimo como un máximo dado en cada una de las nuevas

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

simulaciones para el análisis. En las ramas de mínimos más extremos es donde se logra limitar las pérdidas y es en ese aspecto donde las opciones reales toman mayor relevancia y ventaja. Es en ese punto donde estas disminuyen el riesgo del proyecto.

4.9 CONCLUSIÓN

A lo largo del estudio de prefactibilidad se definieron distintos aspectos, teniendo como supuestos el ingreso al programa RenovAr y la realización de un contrato MATER. Sin embargo, estas suposiciones tienen el riesgo de no cumplirse, o que no sean las ideales.

Finalmente, se entendió que la realización de un solo contrato MATER, a pesar de asegurarse al inicio del proyecto la demanda de esta energía, no resultó ser la más favorable. La realización de dos contratos, debido a los mayores precios obtenidos y la escalabilidad posible, permitieron mejorar la rentabilidad del proyecto en este mercado. Cabe mencionar que se decidió proponer dos contratos, dado que existe el riesgo de no conseguir un contrato MATER. Es decir, si los contratos tuviesen la duración de un solo año, aumenta el riesgo de no conseguir un comprador a un precio que sea atractivo para el proyecto. Otra de las ventajas de realizar dos contratos, es la posibilidad de no continuar con un segundo contrato en caso de que no se den las condiciones favorables.

El riesgo del proyecto es tanto sistemático como no sistemático. Los riesgos no sistemáticos fueron estudiados para su mitigación, siendo una gran oportunidad la instalación de geomembranas para mejorar la captación de biogás, y tener mayor certeza a la hora de firmar un contrato de abastecimiento en el MATER, y de esta forma, evitando el pago de posibles multas. Por otro lado, la mitigación de la pureza de biogás no resulta atractiva, debido a su elevado costo de inversión y poca reducción de la variabilidad de la distribución de VAN.

Se estudió además el efecto de una pesificación de las tarifas como además la no posibilidad de ingresar al RenovAr, y el efecto que estas situaciones generan en la rentabilidad de la empresa. En el último caso, el proyecto se vuelve absolutamente inviable, debiéndose abandonar el proyecto con un costo superior a los \$90.000, debido al costo de la habilitación a presentarse a la licitación del programa RenovAr. En caso de no ingresar al programa, el proyecto pierde todo su atractivo, dado que no es posible conseguir esos beneficios fiscales y precios en el MATER.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Manteniendo el precio con el cual el VAN del RenovAr tiene igual probabilidad de ser positivo y negativo, la utilización de la geomembrana y el estudio de suelos generan un aumento en la probabilidad de VAN positivo y eliminan la posibilidad de tener grandes pérdidas, a través del sacrificio de tener mayor ganancia. El gráfico obtenido resultó ser el siguiente:

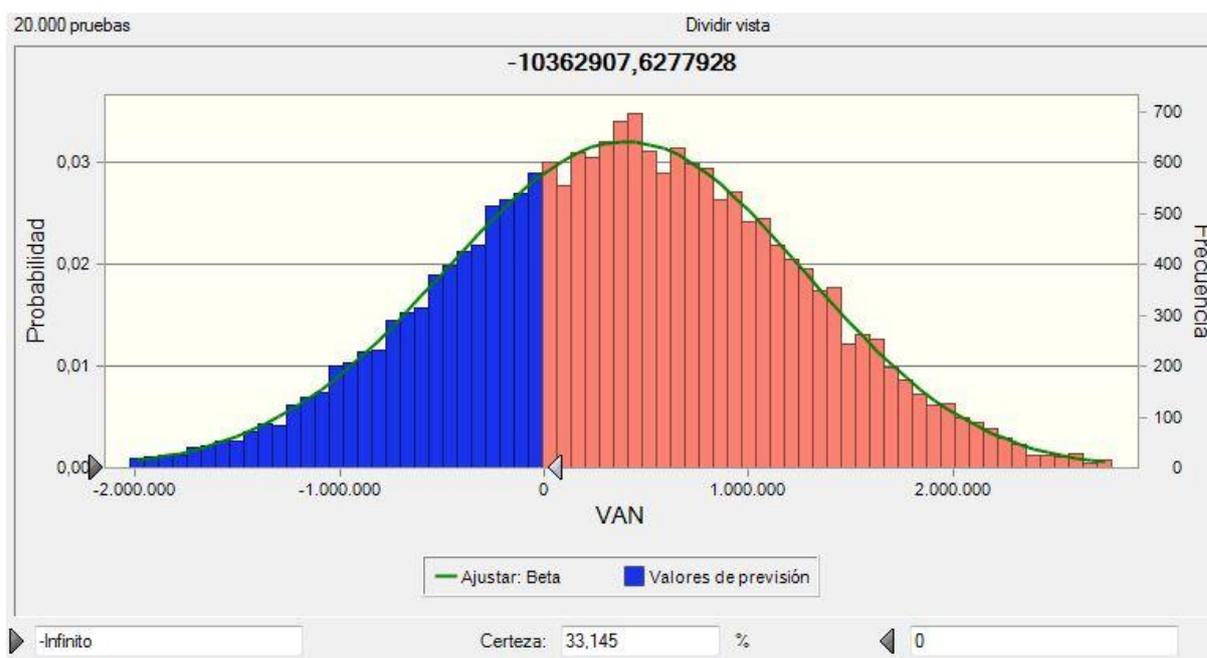


Figura 4.9.1. Resultado de simulación

Como se puede observar, la campana toma un formato mucho más simétrico, y tiene una probabilidad de un VAN negativo de 33,15%. A continuación, una tabla representa los cambios luego de aplicar la mitigación, en donde se demuestra que se recomienda su realización:

Simulación	Escenario RenovAr + MATER 2	Escenario RenovAr + MATER 2 + mitigación completa
Precio RenovAr		120
Número de simulaciones		20000
VAN medio	-1.199.026	374.228
VAN mínimo	-14.150.620	-3.071.613
VAN máximo	3.795.805	3.547.564
Desvío	3.166.742	858.225
Probabilidad VAN<0	49,16%	33,15%

Tabla 4.9.1. Resultado de la simulación

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Finalmente, y ya demostrado el impacto positivo de la mitigación, se llega a la etapa final del estudio en la cual se debe definir el precio para licitar en el programa RenovAr. Se debe tener en cuenta que para lograr ser competitivo, lo más bajo posible siempre logrando que el proyecto sea rentable económicamente al igual que la inversión para el caso del inversor. Para esto se buscó un precio equilibrando el menor precio posible, manteniendo ambos VAN mencionados en el capítulo con valores positivos.

El precio que más asegura el ganar la licitación con un VAN de proyecto positivo es de 114,8 U\$D. El inconveniente de este son las ganancias directas de los inversores, por lo que se terminó definiendo un precio final de licitación de 123,2 U\$D por MW. Gracias a las opciones reales se reducen los posibles inconvenientes que trae la fluctuación de mercado privado de energías renovables y la impredecibilidad en la producción de biogás. Logrando mantener en valores superiores al cero el VAN del inversor y un VAN final de 2.026.452,12 U\$D para el proyecto.

5 ANEXO

5.1 ANEXO MERCADO

5.1.1 Consideraciones generales del programa RenovAr

La potencia instalada ofrecida no puede estar bajo ningún otro contrato o comercialización, excepto la energía eléctrica generada que esté en exceso respecto a la contratada, en cuyo caso se la puede vender en el mercado Spot al precio establecido según la resolución vigente a la fecha.

El plazo de ejecución para los proyectos de biogás de relleno sanitario es de 1095 días de corridos.

Dentro del Pliego de Bases y Condiciones para el programa RenovAr Ronda 3 se establece que el Oferente debe cumplir con dos garantías:

1. “Garantía de Cumplimiento de Contrato”
2. “Garantía de Mantenimiento de Oferta”

5.1.1.1 Garantía de Cumplimiento del Contrato de Abastecimiento

Los términos y condiciones de esta garantía se establecen en el Artículo 22 del Pliego de Bases y Condiciones. Según este los Adjudicatarios deben respaldar el cumplimiento de las obligaciones dispuestas en el Contrato de Abastecimiento (Adjunto en el Anexo 6 del Pliego de Bases y Condiciones).

Dicha garantía es a satisfacción de CAMMESA y tiene un monto de 250.000 US\$ por cada MW de Potencia Contratada y por un plazo no menor al año con obligación de ser renovada. El incumplimiento o cancelación del contrato por parte del vendedor da lugar a la ejecución de la Garantía.

El Contrato de Abastecimiento entra en vigor a partir de la Fecha de Suscripción y hasta el fin del Periodo de Abastecimiento o cuando suceda la Fecha de Rescisión Efectiva. El Período de Abastecimiento es de 20 años comenzando en la Fecha de Habilitación Comercial. Sin embargo, el Vendedor puede optar por rescindir luego de terminado el décimo año de abastecimiento y sin penalidad alguna.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En la Cláusula 7.2 del Contrato se especifican los casos en la que fecha de habilitación comercial puede modificarse, fuera de estos casos no podrá atrasarse sin el consentimiento escrito del Comprador. Los casos se mencionan a continuación:

- a) Cuando el atraso se deba a un Evento de Caso Fortuito o Fuerza Mayor, la fecha programada se extenderá hasta el cese de dicho evento.
- b) En caso de que el atraso no sea por un Evento de Fuerza Mayor se deberá solicitar una extensión de hasta 180 días de corrido bajo lo previsto en la Cláusula 13.1
- c) Si la extensión de 180 días no fuera suficiente se otorgarán 180 días adicionales bajo lo previsto en la Cláusula 13.2 si el Vendedor:
 - i. Certificará haber alcanzado un mínimo de 70% de avance de obra, con las condiciones de SSERyEE¹.
 - ii. Incrementará el monto de la Garantía de Cumplimiento del Contrato de Abastecimiento según lo establecido en la Cláusula 13.2.

En caso de realizarse la primera prórroga de 180 días, según la Cláusula 13.1, el Comprador puede aplicar una multa por un monto del 0.055% del Valor de Referencia para Inversiones correspondiente, sin superar los US\$ 1.388 por cada megavatio de potencia por cada día de atraso. Dicho Valor de Referencia para Inversiones es de 1.300.000 US\$/MW para la tecnología de biogás a partir de relleno sanitario (artículo 12.4 del Pliego de Bases y Condiciones).

Si se otorgase la segunda prórroga de 180 días, según la Cláusula 13.2, el Vendedor debe aumentar el monto de la garantía en un 30% más sobre el monto de la garantía original con una antelación mínima de 10 días antes de finalicen los 180 días concedidos en la primera prórroga. Adicionalmente, se aplicará una multa por cada megavatio de Potencia Contratada equivalente a la prevista en la anterior Cláusula reducida en el porcentaje de avance de obra acreditado.

Si la Fecha de Habilitación Comercial no se alcanza luego del periodo de 180 días adicionales entonces se anulará el Contrato y se ejecutará la Garantía de Cumplimiento de Contrato.

¹ Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética. Depende de la Secretaría de Recursos Renovables y Mercado Eléctrico de la Secretaría de Gobierno de Energía del Ministerio de Hacienda de la Nación.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

En caso de que el Vendedor haya cumplido con la Fecha de Habilitación Comercial Programada entonces el Comprador deberá restituir la garantía.

Como se mencionó anteriormente el Vendedor puede anular el contrato pasados los 10 años de abastecimiento sin ninguna penalidad. A esta situación se le suma, según la Cláusula 19.3, que el Vendedor puede cancelar el contrato en caso de que no se le paguen cuatro liquidaciones de Venta, y de existir las notas de crédito o débito, consecutivas o 6 en un período de 12 meses. Además, cualquiera de las partes puede rescindir del Contrato si ocurre un Evento de Fuerza Mayor con una duración mayor a 180 días de corrido. En todas estas situaciones se puede rescindir unilateralmente y de pleno derecho.

5.1.1.2 Garantía de Mantenimiento de Oferta

Las condiciones de esta garantía se detallan en el artículo 10 del Pliego de Bases y Condiciones. Con esta los Oferentes respaldan el cumplimiento de las obligaciones detalladas en el Pliego de Bases y Condiciones y dan una garantía de seriedad y mantenimiento de la Oferta realizada. Al igual que la Garantía de Cumplimiento de Contrato esta es en satisfacción de CAMMESA.

La garantía tiene un valor de cincuenta mil dólares (US\$ 50.000) por cada MW de Potencia Ofertada, por un plazo mínimo de 180 días corridos extensible a 90 días corridos si la Oferta no es retirada vencido el primer plazo.

El Oferente perderá la garantía sin necesidad de interpelación ni derecho a reclamo en los siguientes casos:

- a) El Oferente retira la Oferta antes del plazo de mantenimiento,
- b) Mintiese en la información entregada con carácter de declaración jurada,
- c) No suministrase la Garantía de Cumplimiento del Contrato de Abastecimiento.

5.1.2 Intercambios de energía

Argentina exporta energía en aquellas ocasiones donde la generación es mayor a la demanda o debido a un marco de convenios establecidos. En algunas oportunidades, debido a la alta exigencia, se requiere de la importación disponible para una operación ajustada y para mejorar el perfil de reservas.

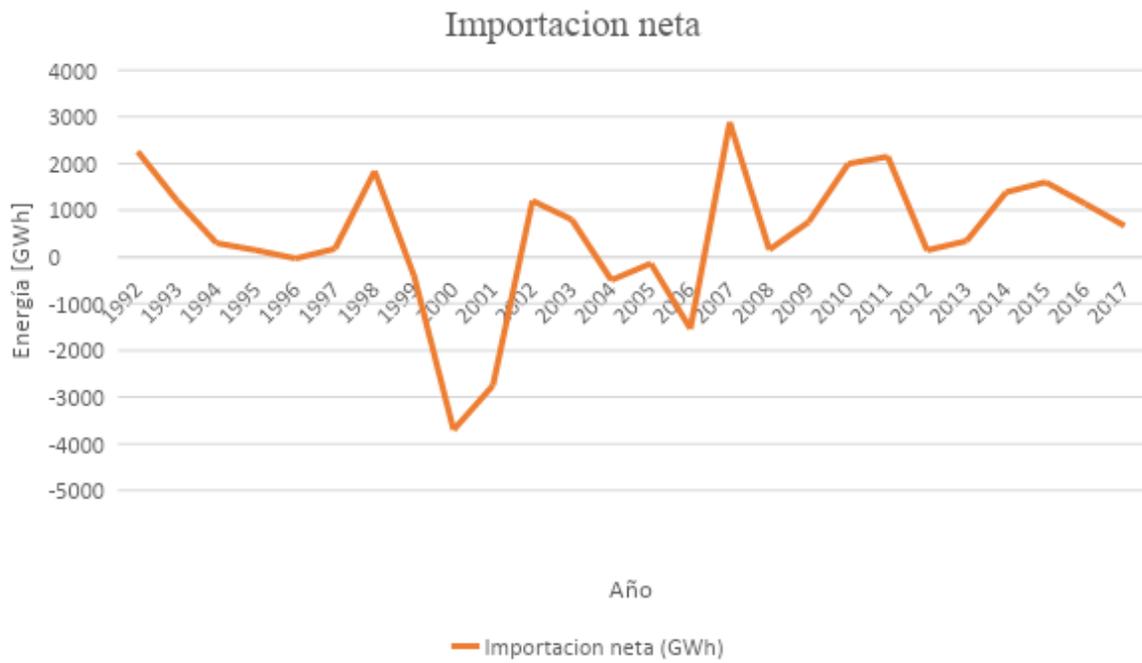


Figura 4.1.2.1. Importación neta. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

A lo largo de los años se busca disminuir las importaciones de energía.

5.1.3 Generación de energía a partir de biogás en Argentina

Se está considerando todas las fuentes posibles de biogás, no solo los gases de vertedero como es el caso del proyecto en cuestión:

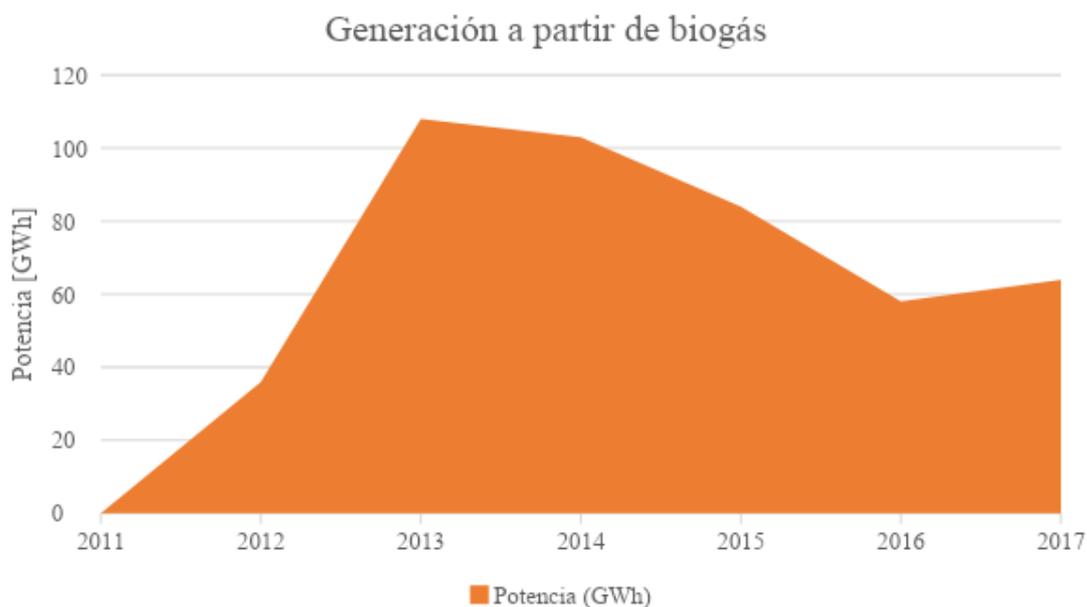


Figura 5.1.3.1. Generación a partir de biogás. Elaboración propia a partir de datos de CAMMESA.

Según los datos obtenidos en el informe de febrero del 2019 de CAMMESA, la energía obtenida a partir del biogás es producida únicamente en la provincia de Buenos Aires y CABA (potencia instalada de 18 MW) y Santa Fe (en total 6 MW). Como ya se ha señalado anteriormente, la obtención de energía a partir de esta fuente es poco significativa frente a otras fuentes.

5.1.4 Compras conjuntas

Si se formaliza la decisión de no participar de las compras conjuntas, entonces estos usuarios quedan excluidos en el mecanismo de compra conjunta establecida por CAMMESA. Estas compras conjuntas se ven instrumentadas bajo dos modalidades. Una de ellas es la resolución 202/2016, que incluye las compras realizadas bajo el programa GENREN, la cual tenía como objetivo promover la generación de energía a partir de fuentes renovables. La otra es el programa RenovAr: si la fuente de energía es considerada renovable, como es el caso del proyecto, entonces se puede aplicar a la licitación. Con la resolución 90, el pago de la energía inyectada a la red queda garantizado a través del Acuerdo de Adhesión al Fideicomiso FODER, respaldando así las obligaciones de CAMMESA del contrato.

A diferencia de los GUH que decidan salirse de las compras conjuntas, los cuales serán penalizados si no cumplen con el consumo mínimo de energía de fuentes renovables, los

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

que decidan no ejercer su derecho de salirse de las compras conjuntas no serán penalizados a pesar de no cumplirse el porcentaje mínimo correspondiente.

5.1.5 Autogeneración o cogeneración

En caso de no querer participar de las compras conjuntas, los GUH deberán manifestar la decisión de no participar. La alternativa de cubrir la cuota de energía de fuentes renovables produciéndose en instalaciones propias es muy tentadora. Por un lado, porque esta práctica se “premia” en la Ley 27.191 con una serie de beneficios y, por otro, por la posibilidad que existe de volcar al mercado los excedentes de energía producida y no consumida internamente, tanto al mecanismo de compras conjuntas como participando del mercado a término de energías renovables.

Sumado a estas ventajas, la generación distribuida o “in situ” de energía, esto es, en zonas cercanas al consumo, permite reducir considerablemente las pérdidas que se producen en la producción y el transporte.

Soluciones como la instalación de paneles solares en industrias son alternativas viables y efectivas con las que se reducen gastos, obteniendo al mismo tiempo independencia energética y cubriendo los requisitos impuestos por la nueva normativa. Además, como dijimos antes, la energía producida por fuentes renovables y no consumida pueden ser comercializada. La gran diferencia es su alta intermitencia, provocando una necesidad constante de energías que se generen de manera más uniforme tanto a lo largo del día como del año.

5.1.6 Mercado a término de energías renovables (MATER)

Este mercado inicia su actividad en el 2017 (Resolución 281-E/2017) y dispone que los grandes usuarios compren electricidad a los generadores o comercializadores (como por ejemplo SAESA, el cual actúa como intermediario en la compraventa de energías de fuentes renovables) de energía a partir de fuentes renovables. Estos generadores deben estar registrados en el Registro Nacional de Proyectos de Energías Renovables (RENPER).

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se deben tener en cuenta las definiciones en este mercado, las cuales permitirán evaluar a las empresas si es conveniente o no ingresar en este mercado.

Algunas de las definiciones importantes dentro de este mercado son:

- La salida de la compra conjunta es por la totalidad del consumo obligatorio de energías renovables (es decir, por ejemplo, por el 8% en 2017), no existiendo la posibilidad de salir de las compras conjuntas de forma parcial.
- Una vez que el GUH decide salirse del régimen de compras conjuntas, no puede volver a este sistema por 5 años, y no pagará los costos en concepto de comercialización por las compras conjuntas.
- El acuerdo podrá gozar de los beneficios fiscales expuestos en la Resolución MEyM N° 72/16 (Anexo I).
- Podrán vender (i) a CAMMESA o (ii) en el mercado spot, hasta el 10% de la generación del proyecto.
- Se penalizará al GUH que no participe más del régimen de compras conjuntas y no cumpla con su cuota mínima de consumo de energías renovables
- No se les requerirá respaldo de potencia

El Organismo Encargado del Despacho (OED) es el que asigna la prioridad de los proyectos según las características de estos. Una vez individualizados los proyectos a los cuales se les asignara prioridad, los titulares tienen 10 días hábiles para presentar una caución para que se otorgue la asignación de prioridad, en caso de no cumplir con el plazo se desestima la solicitud.

La caución es de un monto de 250.000 US\$ por cada megavatio de potencia declarada que debe tener vigencia hasta 120 días después de la fecha de habilitación programada. El periodo para la obtención de la habilitación comercial no puede exceder los 24 meses desde la fecha en la que la OED asigno la prioridad. Es posible solicitar una prórroga de 180 días si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) Que se solicite mínimo 30 días antes de la fecha programada y se acredite que el proyecto tiene un avance del 60% o más,
- b) Que junto con la solicitud se abone US\$ 1.500 por cada megavatio por cada 30 días solicitados,
- c) Debe presentarse un aumento de la caución de US\$ 62.500 por cada megavatio y tener vigencia por un periodo de 120 días después de terminada la prórroga de 180 días, según lo establecido en el artículo 12.

Los titulares pueden solicitar una prórroga adicional de 360 días como máximo, abonando US\$ 4.500 por cada megavatio por cada 30 días solicitados. Además, deberán aumentar

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

la caución en un monto de US\$ 62.500 por megavatio y que el periodo de vigencia cubra 120 días más después de vencido el plazo de 360 días.

Si la habilitación comercial no se presenta al finalizar el plazo y las posibles prórrogas solicitadas la prioridad de despacho pierde efecto de manera inmediata y se ejecuta la caución correspondiente.

5.1.7 Despacho de energía

Dado que la demanda no es constante a lo largo del día, se debe regular la oferta para poder abastecerla en todo momento. Esto implica una complicación, ya que almacenar energía es demasiado caro. Con el fin de poder equilibrar la generación y el consumo, se designó a CAMMESA como la empresa responsable.

En línea con la ley 27.191 para fomentar la diversificación de las fuentes de energía, se asegura el despacho de energía a través de una solicitud de prioridad de despacho exclusiva para las energías renovables. Esta exclusividad debe conseguirse a través de una petición a la Subsecretaría de Energías Renovables para ser incluida en el Registro Nacional de Proyectos de Energías Renovables (RENPER). Una vez enviada la solicitud de inscripción, la Dirección Nacional de Energías Renovables decidirá si dar o no curso a la solicitud de acuerdo al cumplimiento de todos los requisitos, notificando la decisión al interesado dentro de los 15 días hábiles desde la presentación de la solicitud.

La medida no solo prevé beneficios para los titulares de proyectos que inicien la simple inscripción en el RENPER como el derecho de solicitar la asignación de prioridad de despacho, sino además la posibilidad de solicitar el Certificado de Inclusión en el Régimen de Fomento de las Energías Renovables y los beneficios fiscales respectivos, de los cuales fija los montos máximos a otorgar por megavatio para cada tecnología.

Dentro de las generadoras que obtienen prioridad de despacho se las ordena de la siguiente manera:

- i. centrales hidroeléctricas de pasada y centrales que utilicen fuentes renovables que hubieren entrado en operación comercial antes del 1° de enero de 2017;
- ii. centrales adjudicadas en el marco del Programa RenovAr, Ronda 1 y Ronda 1.5
- iii. centrales que suministren su energía en el marco de futuras licitaciones a ser convocadas por CAMMESA

- iv. centrales que operen bajo el mercado de privados, que hubieren obtenido la asignación de prioridad con posterioridad a la publicación del acto de convocatoria mencionado en el punto anterior. Si la hubiera obtenido con anterioridad a la publicación, tendrá prioridad por sobre las centrales indicadas en (iii)
- v. entre las centrales que operen bajo el MATER, tendrá prioridad de despacho la que haya obtenido con anterioridad la prioridad de despacho. Si tuvieran el mismo orden, el despacho se asignará a prorrata.

De no contar con prioridad de despacho, CAMMESA decide ordenar a las generadoras según el costo que tienen, haciendo que aquellas de menor costo sean las que estarían produciendo en primer lugar. A medida que el consumo aumenta, CAMMESA informa a la generadora siguiente en costos que comience a generar electricidad. Por esta razón es que las centrales nucleares como hidráulicas son las primeras en despachar energía, puesto que su costo es menor a la de las demás centrales.

5.1.8 Análisis de regresión de la Gran Demanda

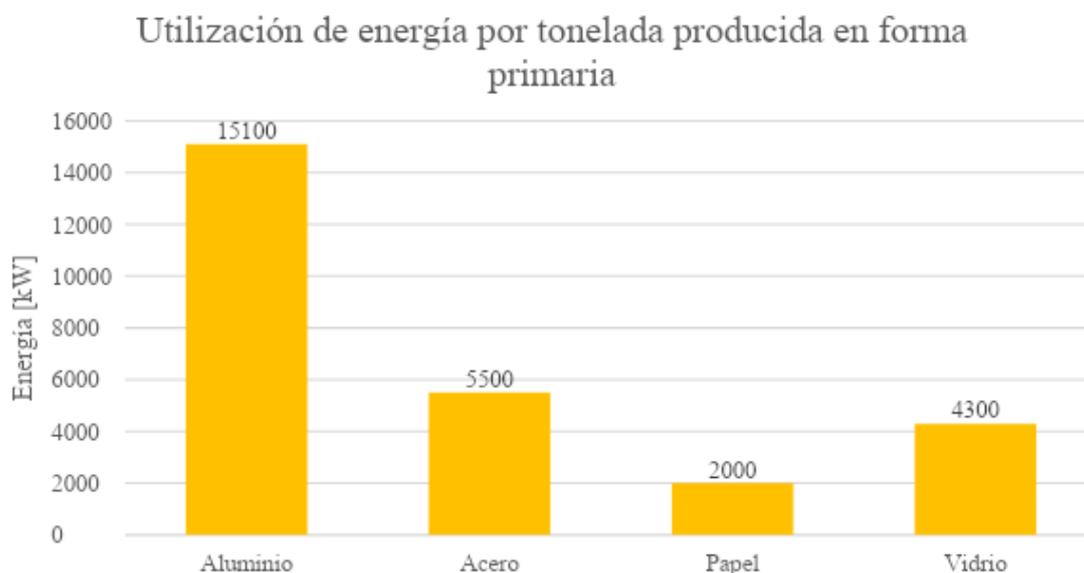


Figura 5.1.8.1. Consumo de energía según tonelada producida. Fuente: UNSAM.

Como se muestra en el gráfico de tablas anterior, el consumo de energía por tonelada de producto es encabezado por el aluminio. Y en base a las toneladas de producción de cada uno de estos productos en el país también toma una relevancia considerable la producción de acero. La producción de acero de los últimos años ronda entre 4 a 5 millones de toneladas anuales, y la de aluminio entre 300 y 400 mil toneladas anuales (consideración

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

grande tomando en cuenta la gran cantidad de energía que se utiliza por tonelada del producto). Mientras que por ejemplo en el sector productivo del papel se realizan alrededor de 200 mil toneladas anuales lo cual por el consumo al producirlo muestra como este entre tantos otros productos no afectan de tal magnitud a la demanda industrial como sí lo hace los productos de la metalurgia mencionados. Viendo estos valores, los modelos probados estuvieron muy ligados tanto a esto como al PBI industrial como al PBI real y a su crecimiento anual.

Como la gran demanda involucra al consumo de las industrias en el país, ante una variación en este sector económico provocaría una variación proporcional en dicha demanda. Lamentablemente, los números históricos en los cuales se basó para realizar el análisis correspondiente no concordaron con lo dicho y las variables explicativas con las que se probó no cumplieron con lo esperado. Ningún modelo a partir de estos datos para la demanda industrial se lo pudo dar como válido. Ya sea por razones estadísticas o simplemente porque sus coeficientes resultaban absurdos, como sería que el crecimiento en la producción de aluminio tenía una relación inversa con este consumo, cuando justamente es su principal consumidor.

5.1.9 Precios

5.1.9.1 Precios AySA

aysa LICITACIÓN PÚBLICA N° 42582
Abastecimiento de Energía Eléctrica a partir de Fuentes Renovables
Anexo II - PLANILLA DE COTIZACION

OFERTA BÁSICA: Demanda de 10 MW en un plazo de 10 años.
OFERTAS ALTERNATIVAS: Se considerarán "Ofertas Alternativas" todas las demás combinaciones posibles entre las distintas opciones de potencia y vigencia.

Demanda media anual en MW	2 años	5 años	10 años	15 años	20 años
10	N/A	65,70	Oferta Básica 61,50	59,60	59,00
20	N/A	65,70	61,50	59,60	59,00
30	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
40	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
50	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
60	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Rubén Vázquez
Abastecedor
Central Puerto S.A.
Firma Representante Técnico

Rubén Vázquez
Abastecedor
Central Puerto S.A.

Figura 5.1.9.1.1. precio licitado por Central Puerto para AySA.

5.1.9.2 Precios ofertados por Central Puerto

aysa Abastecimiento de Energía Eléctrica a partir de Fuentes Renovables
Anexo II - PLANILLA DE COTIZACION

OFERTA BÁSICA: Demanda de 10 MW en un plazo de 10 años.
OFERTAS ALTERNATIVAS: Se considerarán "Ofertas Alternativas" todas las demás combinaciones posibles entre las distintas opciones potencia y vigencia.

Demanda media anual en MW	2 años	5 años	10 años	15 años	20 años
10			Oferta Básica 64,66 us\$/mwh	64,96 us\$/mwh	60,66 us\$/mwh
20					
30					
40					
50					
60					

Firma Representante Técnico: *Federica Dell'Acqua*

Firma Apoderado: *Patricio Cipollone*
 Patricio Cipollone
 Gerente Comercial
 YPF Energía Eléctrica S.A.

Figura 5.1.9.2. Precios licitados por YPF para la empresa AySA.

5.1.10 Programa RenovAr

5.1.10.1 Factores de incentivo y ajuste

Año	Factor de Ajuste Anual	Factor de incentivo
2020	1,0171	1,2
2021	1,0344	1,15
2022	1,0521	1,15
2023	1,0701	1,15
2024	1,0883	1,15
2025	1,1069	1,1
2026	1,1258	1,1
2027	1,145	1,1
2028	1,1646	1,05
2029	1,1845	1,05
2030	1,2047	1,05
2031	1,2253	1
2032	1,2462	1
2033	1,2675	1
2034	1,2891	1
2035	1,3111	1
2036	1,3335	0,9
2037	1,3563	0,9
2038	1,3794	0,9
2039	1,403	0,8

Figura 5.1.10.1. Factor de ajuste e incentivo por año.

5.1.10.2 Precio esperado en programa RenovAr licitando a 130 U\$/MWh

Año	Precio Real
2020	158,6676
2021	154,6428
2022	157,28895
2023	159,97995
2024	162,70085
2025	158,2867
2026	160,9894
2027	163,735
2028	158,9679
2029	161,68425
2030	164,44155
2031	159,289
2032	162,006
2033	164,775
2034	167,583
2035	170,443
2036	156,0195
2037	158,6871
2038	161,3898
2039	145,912

Figura 5.1.10.2.1. Precio real esperado.

5.1.11 Propuesta alternativa para el precio monómico

Como se explicó anteriormente, el precio monómico tiene una fuerte relación tanto a las cantidades consumidas para la generación de electricidad como al precio del Gas Natural y en los meses invernales a las cantidades y precios de otros combustibles. El precio de estos otros combustibles se representó en base al precio de crudo de petróleo.

Se desarrollaron modelos de regresión en base a las siguientes variables, tomando datos anuales desde el 2002 hasta 2018:

Y: Precio Monómico (U\$S/MWh)

X₁: Precio Gas Natural en Argentina (U\$D/mm³)

X₂: Precio barril de crudo internacional (U\$D/barril)

X₃: Consumo para generación en Argentina de Gas Natural (mdam³)

X₄: Consumo para generación en Argentina de Fuel Oil (kTon)

X₅: Consumo para generación en Argentina de Gas Oil (mm³)

De las posibles combinaciones, surgen distintos modelos, de los cuales el seleccionado debido a los estadísticos fue el modelo que incluye las variables X₁ y X₂.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

La relación entre las variables explicativas y el precio monómico resulta evidente al analizar la composición de la matriz energética Argentina: en promedio, las centrales térmicas representaron el 58% de la matriz, haciendo que la generación de energía eléctrica esta enormemente influida por el precio de los combustibles utilizados en las energías de fuentes no renovables. En los meses invernales se estudia como el precio de otros combustibles influyen en el precio monómico debido a la falta de gas natural.

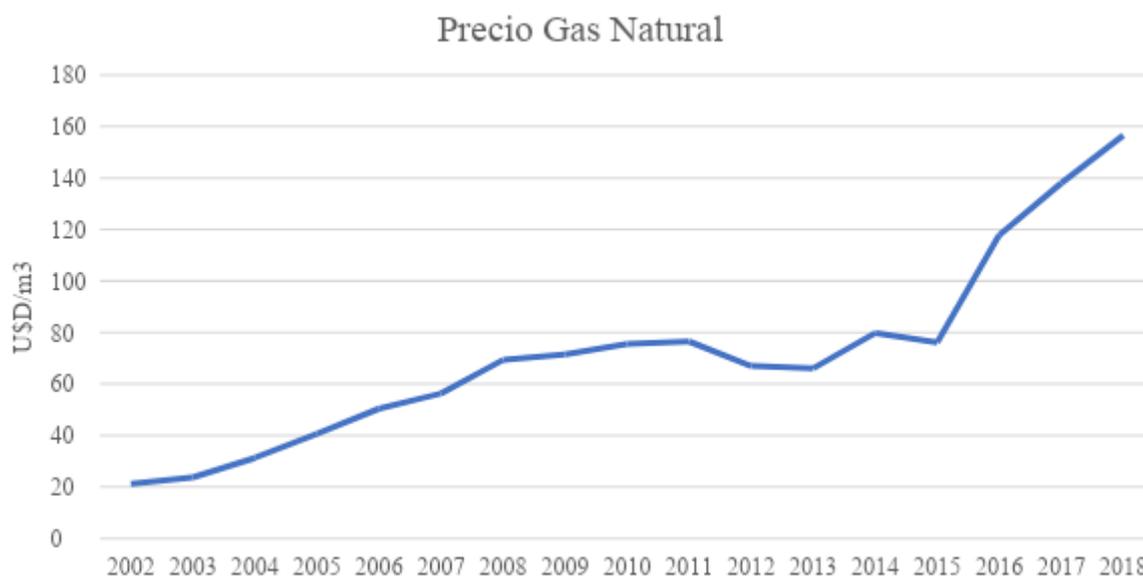


Figura 5.1.11.1. Evolución del precio del gas natural. (Fuente: CeicData).

Analizando el precio histórico del gas natural, puede verse en el gráfico que el mismo sube repentinamente debido al atraso que representaba: hasta el año 2015 el precio del gas natural estuvo atrasado, pero en el año 2016 el precio pasó a ser de los más caros de la región. Con un precio de 0,57 U\$/m³, se impuso sobre precios de otros países como Canadá, Suiza, México, entre otros.

5.1.11.1 Resultados modelo X1 y X2

El modelo que considera el precio del GN y del barril de petróleo presenta los siguientes resultados estadísticos:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Modelo	R ²	S ²	DET	Σ δ _i	PRESS	p	C _p
X1 X2	0,853587	95,7585	0,948704	138,3757	2050,672	3	3

Tabla 5.1.11.1.1. Parámetros estadísticos del modelo.

El R² es aceptable para el modelo propuesto, mientras que el DET es mayor a lo exigido para no rechazarlo (0,1). Por su parte el valor de CP es menor a 5*p.

Resumen

Estadísticas de la regresión

Coefficiente d	0,9238978
Coefficiente d	0,85358715
R ² ajustado	0,83267103
Error típico	9,78562697
Observaciones	17

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada	F	Valor crítico de F
Regresión	2	7815,81067	3907,90533	40,810012	1,4423E-06
Residuos	14	1340,61893	95,7584951		
Total	16	9156,4296			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-9,3552535	7,28149313	-1,2847988	0,21971387	-24,972503	6,26199607	-24,972503	6,26199607
PRECIO GA:	0,42096395	0,06766968	6,2208653	2,2339E-05	0,27582693	0,56610098	0,27582693	0,56610098
PRECIO BAF	0,43983983	0,08845955	4,972214	0,00020481	0,25011296	0,6295667	0,25011296	0,6295667

Figura 5.1.11.1.1. Resumen estadístico.

Los coeficientes coinciden con lo esperado, al aumentar el precio de alguna de las variables, el precio monómico aumenta. Esto se entiende a partir de que la matriz energética está muy vinculada a estos precios debido a la gran dependencia de las centrales térmicas.

Luego, una vez seleccionado el modelo, se deben proyectar los precios de cada variable seleccionada. Como ambos pueden considerarse commodity se utiliza el método de Mean Reversion. Los resultados fueron los siguientes:

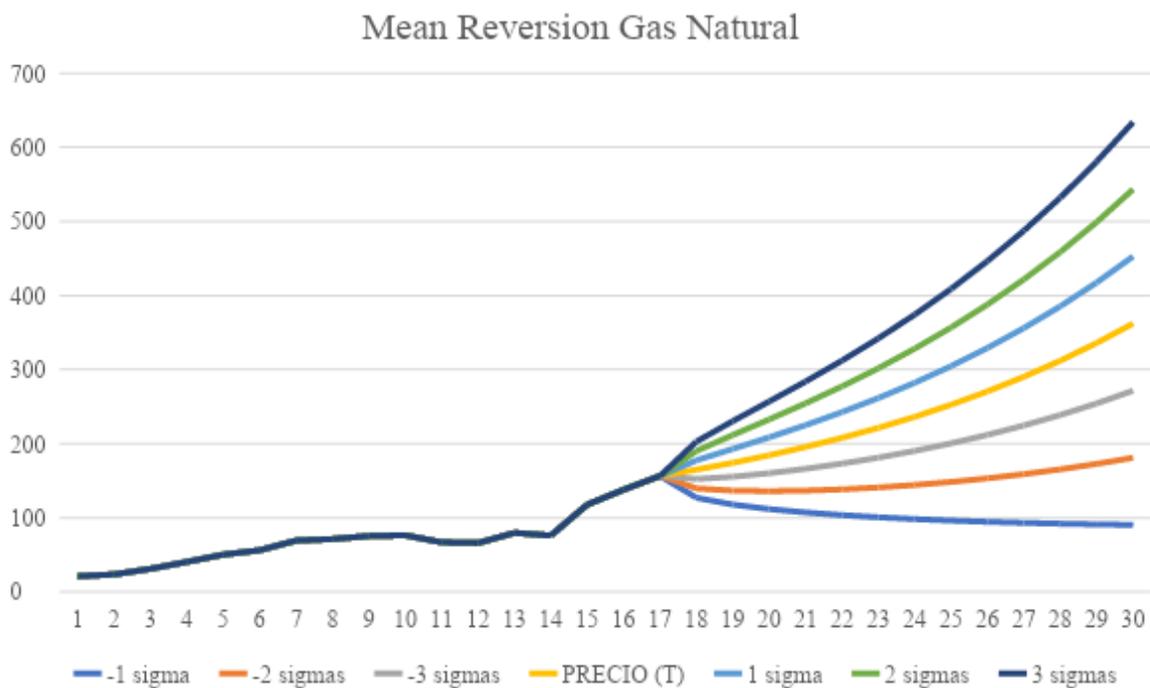


Figura 5.1.11.1.2. Proyección del precio del gas natural. Elaboración propia a partir de datos de Ceicdata.

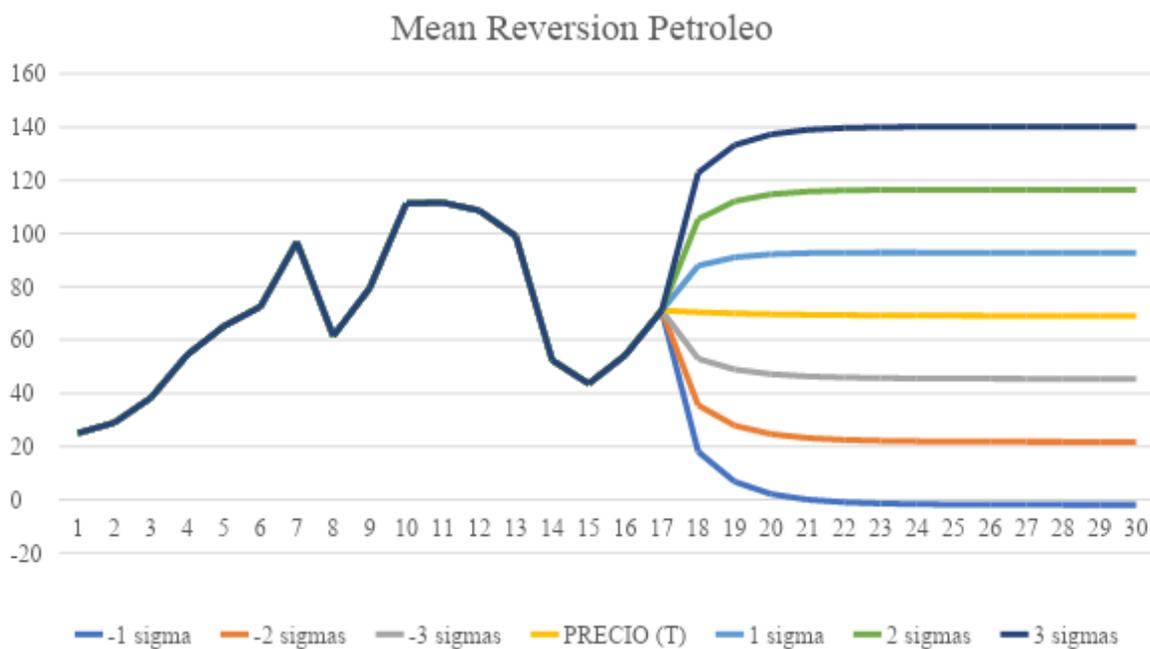


Figura 5.1.11.1.3. Proyección del precio del barril de petróleo. Elaboración propia a partir de datos de EIA.

En ambos casos no se cumplen los requisitos sobre los residuos al realizar la verificación con el método del Random Walk. Estos residuos se presentan en el anexo.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Se puede notar como las proyecciones sobre el precio del Gas Natural en Argentina divergen, haciendo que la utilización de esa proyección no sea representativa.

Por otro lado, en las proyecciones del precio del crudo la confianza no es óptima, llegando a ser el precio negativo.

Ante la imposibilidad de proyectar mediante el método de Mean Reversion las variables explicativas, se busca utilizar otros métodos de proyección para el precio monómico. El segundo modelo posible es el que considera las variables X_2 , X_4 y X_5 . Respecto a las proyecciones sobre la cantidad de Gas Natural utilizado se propusieron series de tiempo con la ayuda del software Crystal Ball. El software no llegó a un modelo válido entre las series de tiempo posible (el mejor fue el promedio medio móvil, pero no cumplió con el test de Durbin Watson para evaluar la correlación), por lo que el modelo tuvo que ser descartado al igual que el anterior debido a las dificultades en la proyección de las variables explicativas.

Otra de las posibilidades evaluadas fue la utilización del método de Holt Winters, el cual no fue utilizado por razones explicadas en el anexo.

Como última instancia, se recurren a las proyecciones para el precio del crudo realizadas por el Banco Mundial. Estas mismas proyecciones no pudieron conseguirse en el caso del Gas Natural. Por lo tanto, se proyectaron con el software Crystal Ball resultando ser la más adecuada el modelo ARIMA:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

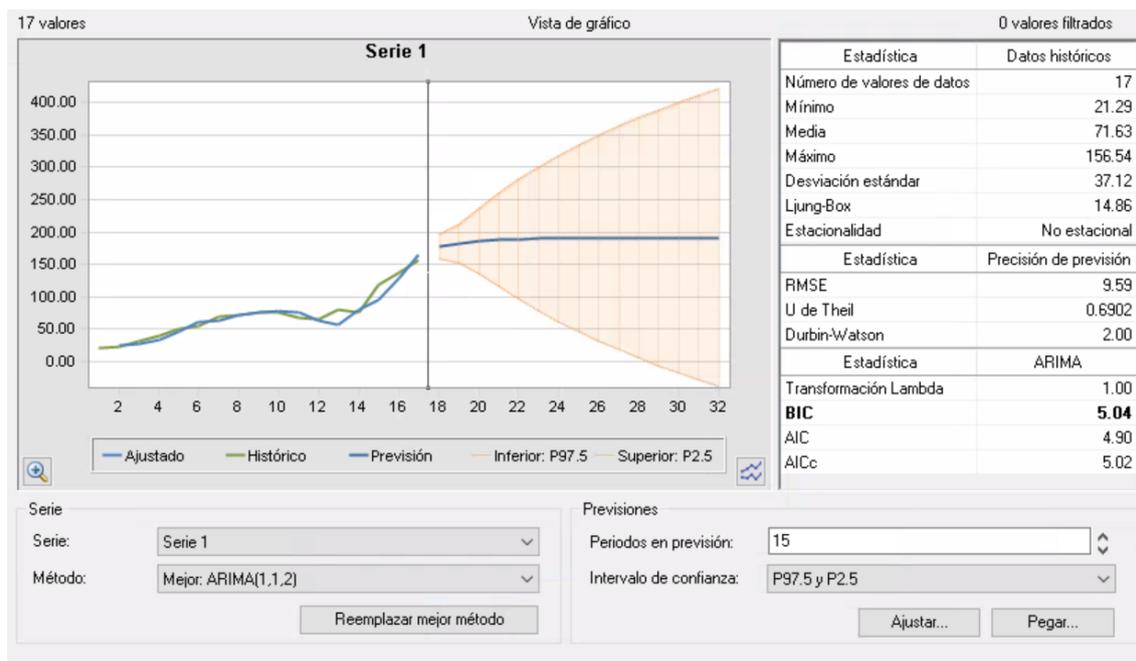


Figura 5.1.11.1.4. Proyecciones del precio del gas natural.

Mediante estas herramientas se pudo proyectar el precio del precio monómico:

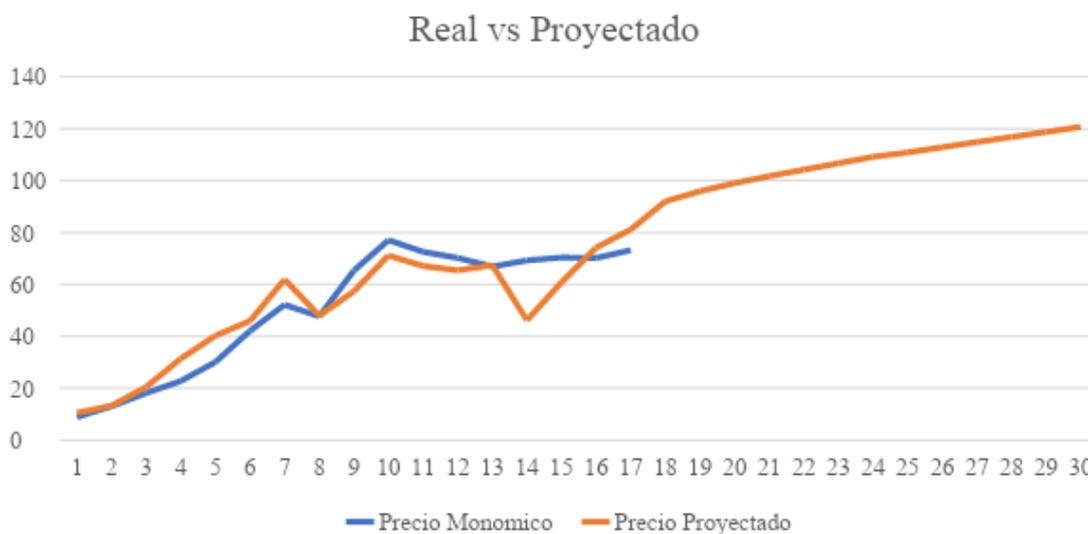


Figura 5.1.11.1.5. Precio monómico proyectado vs real según precio del petróleo y del gas.

El precio proyectado supone un crecimiento del precio monómico. Esto se debe a que ambas variables explicativas muestran en sus proyecciones crecimientos de precio, en especial el precio del barril del petróleo. El precio del gas natural no muestra un gran crecimiento. Sin embargo, es posible que este precio disminuya, dado el gran potencial de Vaca Muerta.

5.1.11.2 Proyección del precio monómico con Holt Winters

Para tener en cuenta la estacionalidad y la tendencia, se decidió proponer como método de proyección las series de tiempo, dado que al haber múltiples factores que influyen en el precio monómico, no se estaría cumpliendo con el criterio de Parsimonia.

Utilizando el software Minitab se buscaron diversos métodos para la proyección, como por ejemplo las series de tiempo aditivas y multiplicativas, suavizamientos exponenciales y el método de Holt Winters. El último método fue el que mejor resultados obtuvo al momento de evaluar los errores y los intervalos de confianza de los pronósticos, y por este motivo fue el elegido para proyectar los precios monómicos. Este método tiene la ventaja de ser muy flexible a la hora de combinar las estacionalidades, los ciclos y las tendencias.

El método de Holt Winters propone la utilización de tres factores para la proyección, los cuales representan el nivel (o atenuación de los datos - α), la tendencia (β) y la estacionalidad (γ). Estos tres factores permitieron proponer distintas proyecciones, al poder alterarlos. Para elegir entre los modelos posibles se evaluaron los errores, siendo la proyección que consiguió los mejores resultados la obtenida a partir de los siguientes índices:

$$\alpha=0,2 \quad \beta= 0,05 \quad \gamma=0,2$$

Los valores proyectados vs los reales son los siguientes:

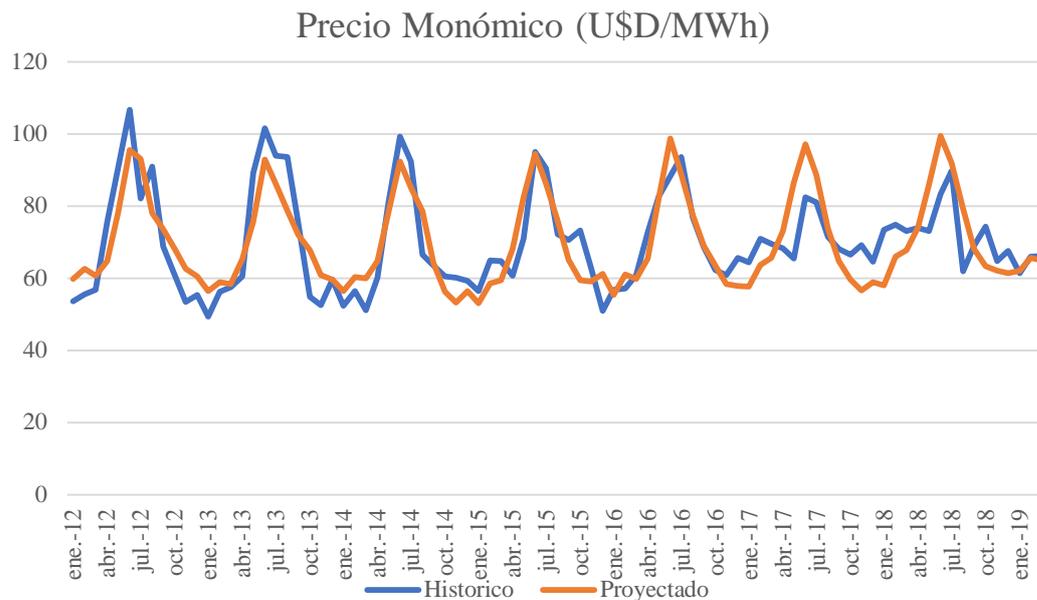


Figura 5.1.11.2.1. Precio monómico con método Holt Winters.

En primer lugar, puede observarse como el precio proyectado sobreestima el pico en los años 2017 y 2018. Salvo estos dos años, el modelo se ajusta bien a los demás años.

Las estacionalidades son estimadas de buena aproximación mediante el modelo, respetándose los valles y las cimas.

Los precios proyectados son los siguientes:

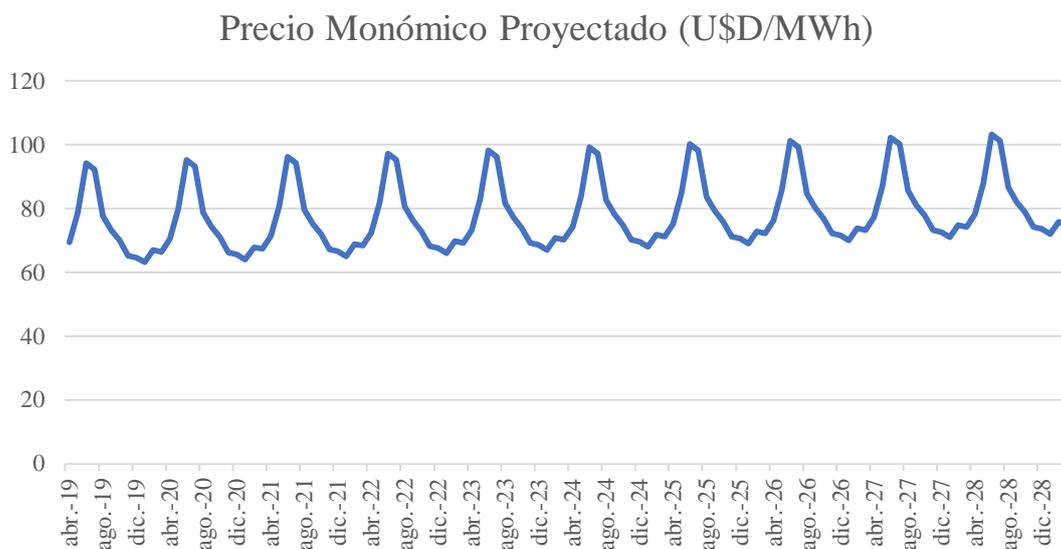


Figura 5.1.11.2.2. Proyección de precio monómico según el modelo de Holt Winters.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

La proyección de los precios contempla las estacionalidades, siendo los valles en los meses de verano y las cimas en los meses más fríos del año, en los cuales se encarece la generación de energía por parte de las centrales eléctricas.

El análisis sobre los errores se presenta a continuación a partir de los siguientes gráficos:

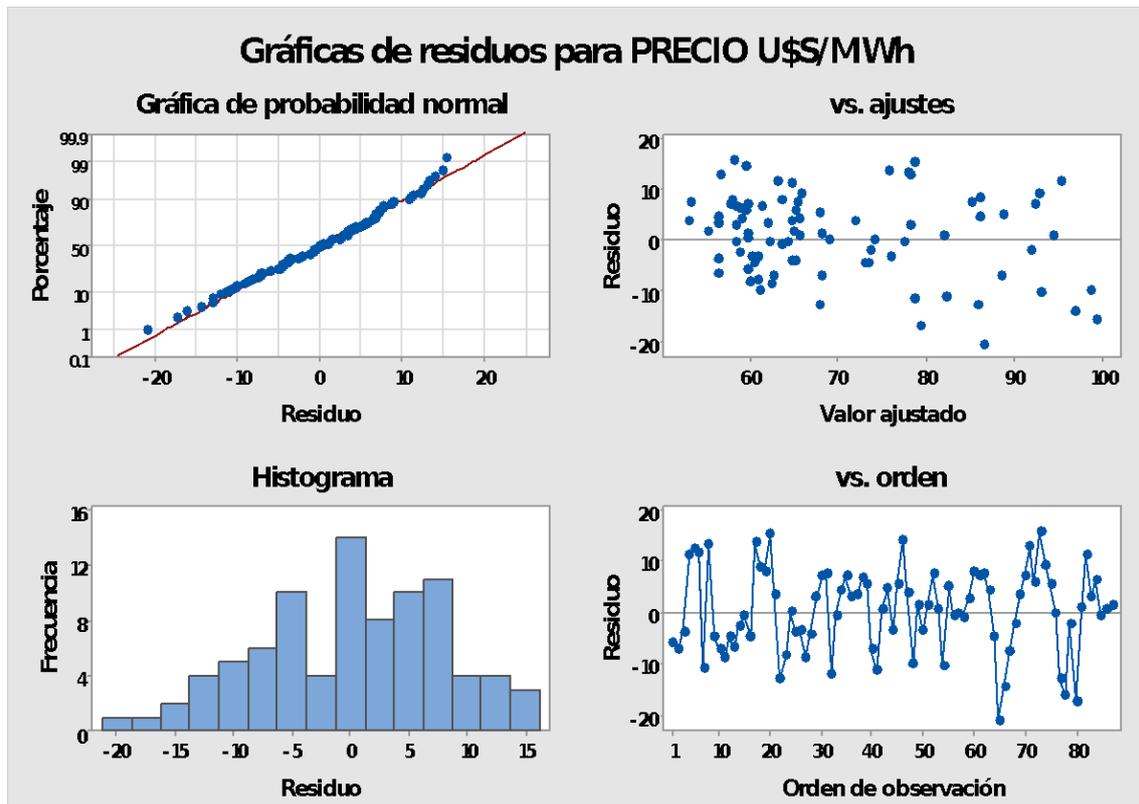


Figura 5.1.11.2.3. Gráficas de residuos para modelo de precio monómico según Holt Winters.

En primer lugar, se decide analizar el supuesto de independencia, en el gráfico de residuos en función del orden de observación, que se presenta a continuación, se observa que no hay un patrón definido a simple vista, sino que los residuos están distribuidos aleatoriamente, por encima y debajo del cero. Además, no se identifica autocorrelación positiva o negativa. Luego, se puede suponer que el supuesto no se viola.

El supuesto de homocedasticidad puede estudiarse con el gráfico de residuos frente a valor ajustado. En el mismo no es posible identificar patrones, por lo que resulta válido suponer que la varianza de los residuos es constante.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Con respecto al principio de esperanza de los residuos igual a cero., el cual puede verificarse analizando el histograma, en el cual se grafica la acumulación de los residuos para todas las observaciones. Si el modelo se ajusta a los datos, los residuos deberían ser aleatorios con una media de 0. De modo que el histograma debería exhibir simetría alrededor de 0. Como puede notarse, los errores no siguen una distribución aproximadamente normal, debido a que las alturas de las columnas de la derecha predominan frente a las de la izquierda.

5.1.11.3 Proyección de precios para X_1 y X_2 con Mean Reversion

La utilización del método de Mean Reversion debió ser rechazado por las proyecciones de las variables explicativas, dado que no se cumplen los supuestos para la validación del Random Walk.

Entre los supuestos a validar, se encuentra el gráfico de la distribución del error a partir de un histograma, el cual debe asemejarse a una normal con una media igual a cero. En el gráfico de errores frente a los inmediatos anteriores (gráficos $E(t)$ vs $E(t-1)$) no se deben presentar patrones identificables. Por último en el gráfico que vincula el precio de un período con el anterior se debe visualizar una “recta lineal” y no una nube de puntos.

5.1.11.4 Random Walk precio barril de crudo

Para verificar el cumplimiento de los supuestos, se evalúan los siguientes gráficos:

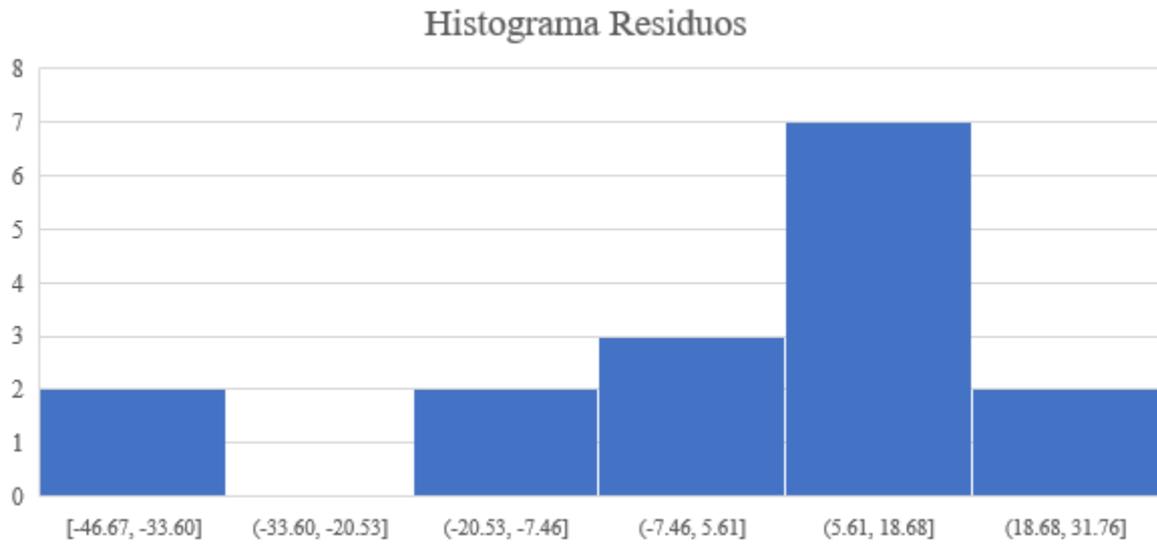


Figura 5.1.11.4.1. Histograma de residuos para para precio de barril de crudo.

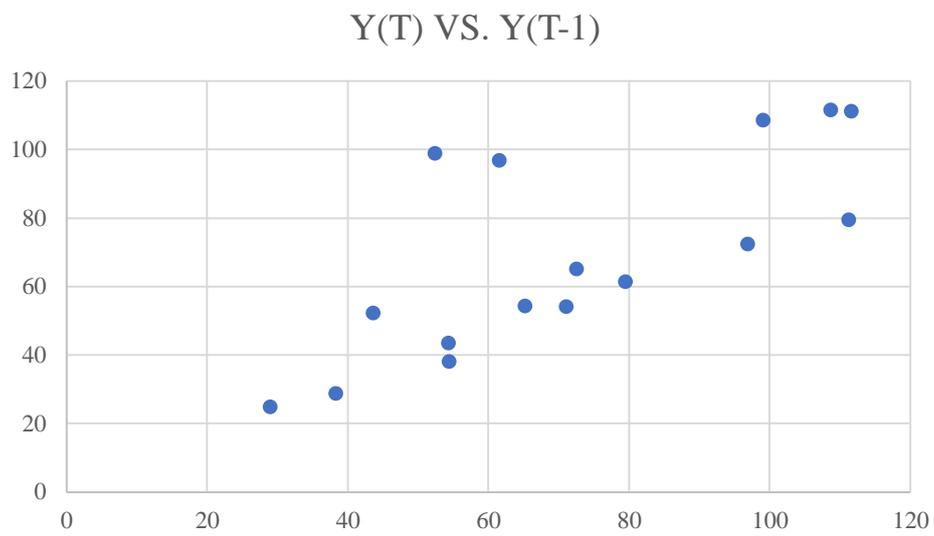


Figura 5.1.11.4.2. Gráfica de valores para precio de petróleo. .

ERROR (T) VS. ERROR (T-1)

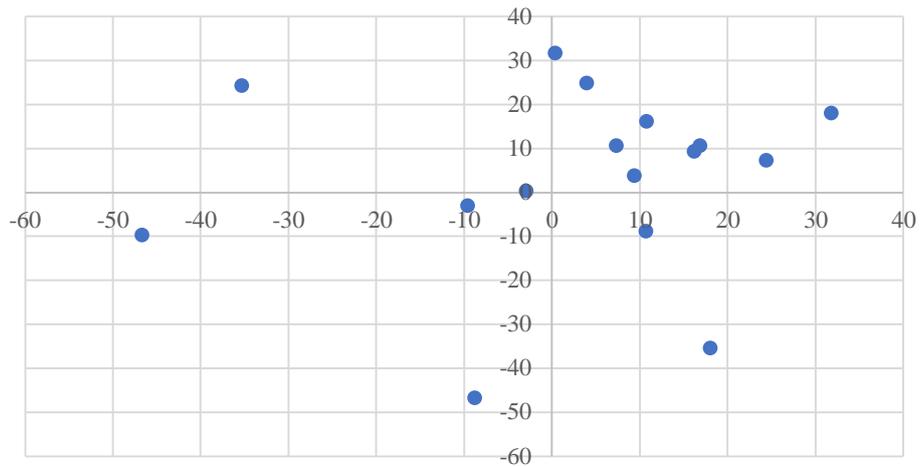


Figura 5.1.11.4.3. Gráfica de residuos para precio del petróleo.

Esta situación hace que el Random Walk no se estabilice, sino que las proyecciones diverjan:

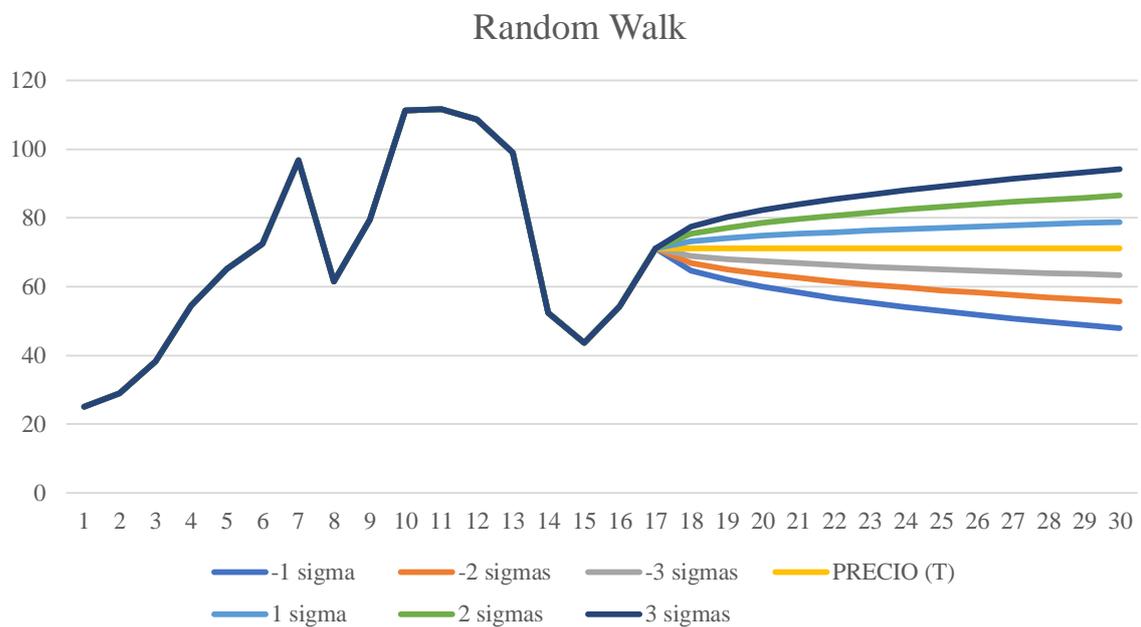


Figura 5.1.11.4.4. Random Walk para precio del petróleo.

5.1.11.5 Random Walk precio Gas Natural

El histograma no sigue el comportamiento esperado:

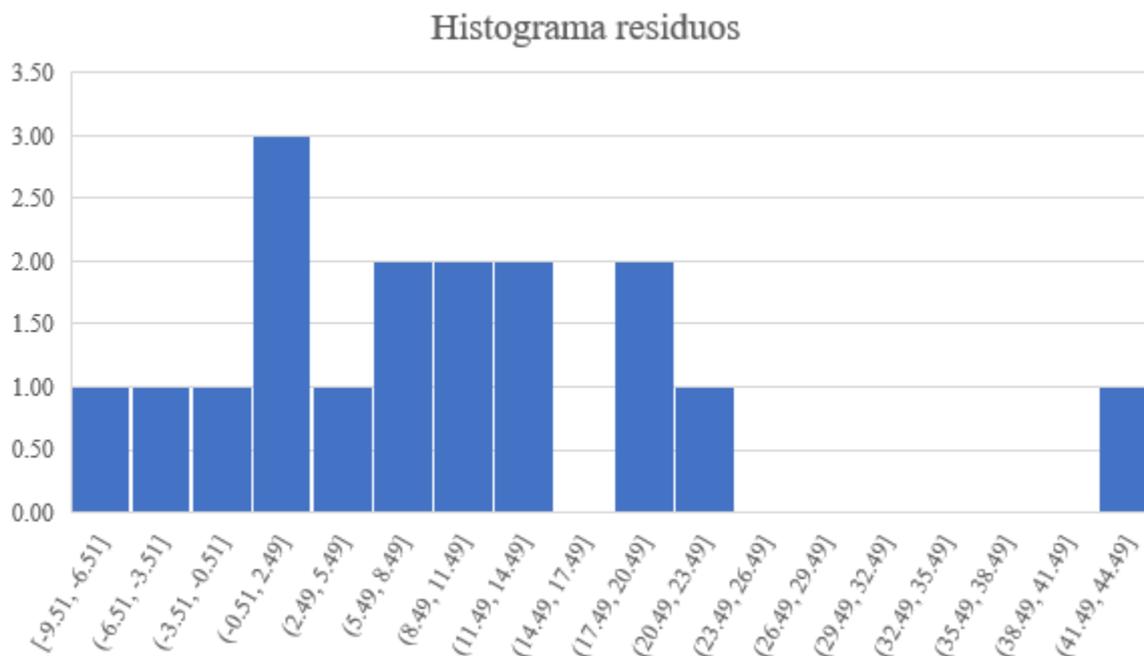


Figura 5.1.11.5.1. Histograma de residuos para precio del gas natural.

En el siguiente gráfico pueden distinguirse tres puntos alejados de la recta que forman los demás puntos. Estos tres puntos corresponden a los últimos tres años (2016 a 2018), en los cuales se ve un salto del precio del gas natural.

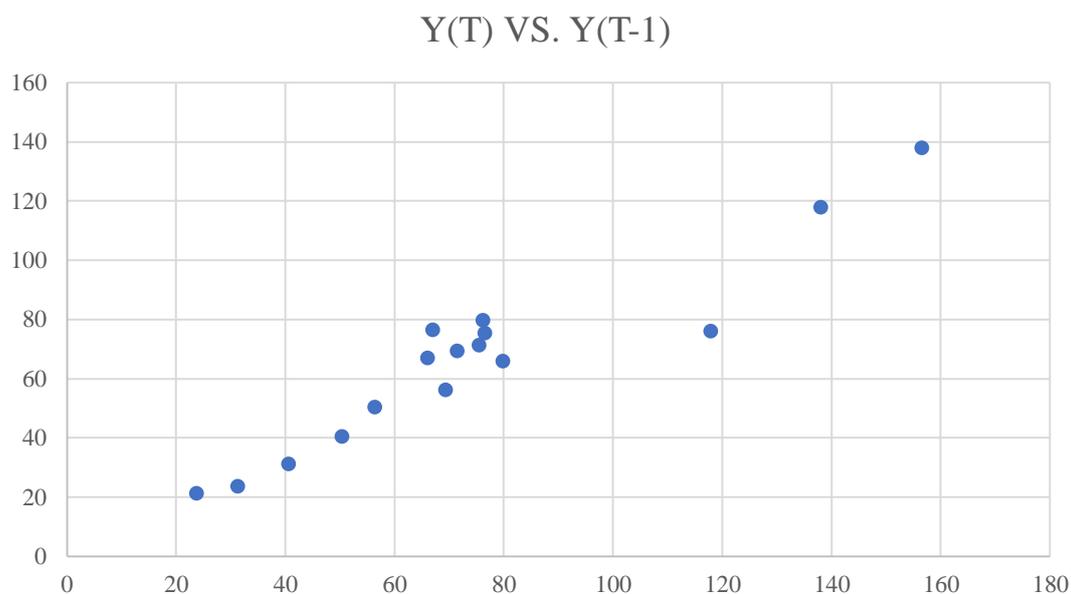


Figura 5.1.11.5.2. Gráfica de valores para precio del gas natural.

Los errores no siguen un patrón determinado:

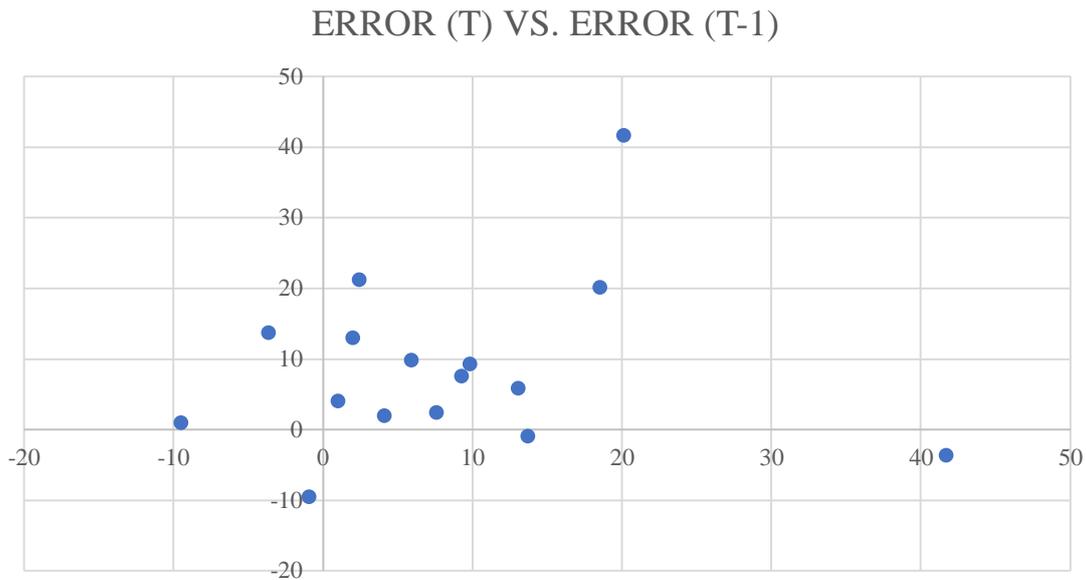


Figura 5.1.11.5.3. Se gráfica de residuos para precio del gas natural.

El resultado del Random Walk es el siguiente:

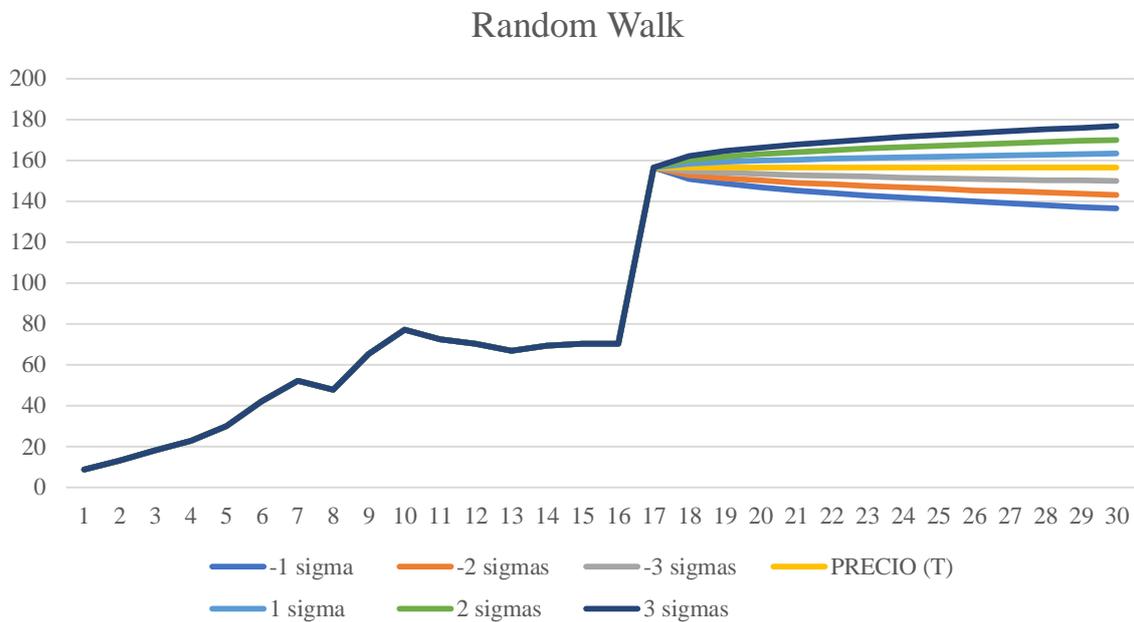


Figura 5.1.11.5.4. Random Walk para el precio del gas natural.

Errores de Mean Reversion en base a precios anuales desde 2002

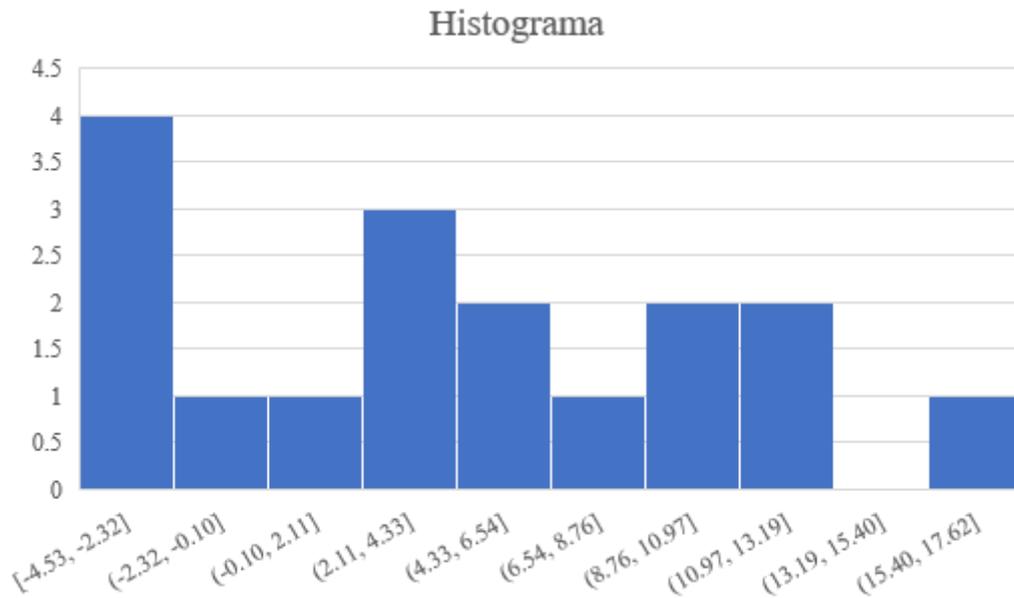


Figura 5.1.11.5.5. Histograma de residuos de Mean Reversion para precio monómico (datos de 2002).

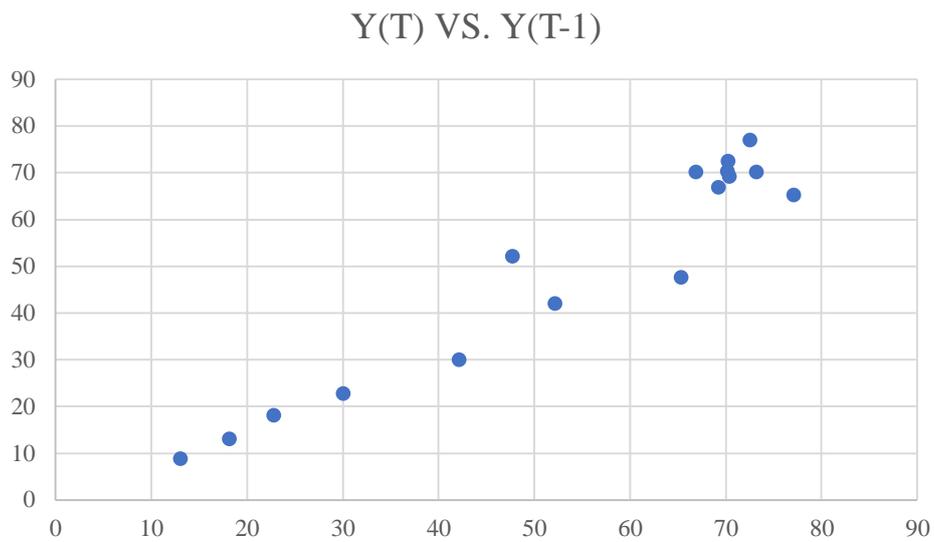


Figura 5.1.11.5.6. Gráfica de residuos Mean Reversion para precio monómico (datos desde 2002).

ERROR (T) VS. ERROR (T-1)

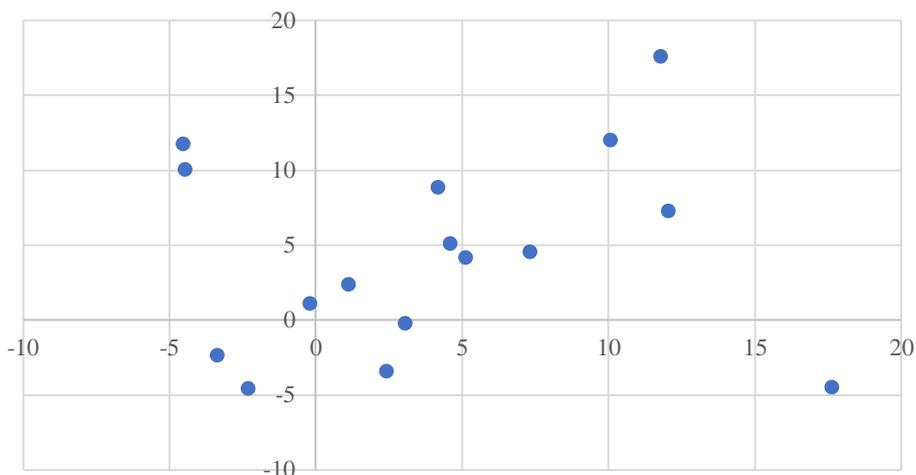


Figura 5.1.11.5.7. Gráfica de residuos Mean Reversion para precio monómico (datos desde 2002).

Resultados modelo X₂, X₄ y X₅

Resumen

Estadísticas de la regresión

Coeficiente d 0,98135834
 Coeficiente d 0,9630642
 R² ajustad 0,95383025
 Error típico 5,15701731
 Observacione 16

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	cuadrado de los cua	F	valor crítico de F
Regresión	3	8321,20284	2773,73428	104,296005
Residuos	12	319,137931	26,5948275	7,3275E-09
Total	15	8640,34077		

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-17,822792	8,07117856	-2,2082019	0,04743334	-35,408379	-0,2372044	-35,408379	-0,2372044
PRECIO BAF	0,16894264	0,05550798	3,04357403	0,01020587	0,04800114	0,28988413	0,04800114	0,28988413
Gas Natural [0,00323863	0,00077917	4,1565051	0,00133106	0,00154096	0,0049363	0,00154096	0,0049363
Gas Oil [mm:	0,01368539	0,00247897	5,52058836	0,00013183	0,00828417	0,01908661	0,00828417	0,01908661

Figura 5.1.11.5.8. Resumen de estadísticos.

Los indicadores estadísticos del mismo son los siguientes:

Modelo	R ²	S ²	DET	Σ δ _i	PRESS	p	C _p
X1 X2 X5	0,980201	14,2562	0,33607	54,4931	390,6324	4	5,176088

Figura 5.1.11.5.9. Parámetros estadística del modelo

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Sin embargo, el mismo fue descartado debido a que el signo del coeficiente de la variable X_4 carece de sentido: sabiendo que el costo de las centrales térmicas a gas natural es de menor costo, el uso de esta materia prima en mayor proporción que las demás debería disminuir el precio monómico y no aumentarlo, como propone el coeficiente estudiado.

5.1.12 Desestacionalización de precio monómico desde 2012

El resultado de la desestacionalización es el siguiente, siendo la última columna el índice de valor estacional (en %):

SERIE DESESTACIONALIZADA								
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	IVE
enero	64,406462	59,337984	62,852831	67,679792	68,162167	77,341071	88,175606	83,213578
febrero	62,150926	62,990396	63,300489	72,688634	64,092798	79,519461	83,867389	89,170519
marzo	64,080141	64,833354	57,709173	73,093413	68,624194	78,557081	82,37596	88,558038
abril	78,355967	62,85256	62,522502	62,949483	75,43202	70,907235	76,754221	96,255715
mayo	80,277644	79,015779	71,762651	62,91195	73,215763	58,108897	64,733184	112,724
junio	79,659645	75,768952	74,085471	70,937654	65,950472	61,577082	62,154743	133,90856
julio	64,669351	74,016958	72,686747	71,205383	73,703621	63,815546	70,614699	126,97761
agosto	83,810477	86,338778	61,268512	66,561593	70,774652	65,884944	57,082338	108,44412
septiembre	70,072618	76,558583	64,705119	71,831771	69,875495	69,362078	70,303061	98,187503
octubre	66,31811	59,785691	66,001543	79,977995	67,969686	72,495932	81,135829	91,641093
noviembre	62,389676	61,284606	70,266758	73,346201	71,109153	80,685789	75,688973	85,592476
diciembre	64,939632	69,871977	69,354333	59,694591	76,789253	75,65877	79,167467	85,32679

Figura 5.1.12.1. Series desestacionalizada.

Sin embargo, al validar el método de Random Walk, la correlación entre los valores del precio fue de tan solo 48% mientras que la correlación de los residuos fue mayor al 25%, por lo cual debió ser descartado.

5.1.13 Proyección de precio de Compras Conjuntas

Los precios proyectados según ADIMRA se presentan a continuación:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

1) Si me quedo en CAMMESA < 20 MW	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Compra conjunta	75,57	72,42	73,65	74,91	72,88	74,12
Adicional potencia *	8	8	8	8	8	8
Energía adicional	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Cargo de sust y garantía	1	1	1	1	1	1
SCMEM **	0	0	0	0	0	0
Cargo Foninvenem + FNNE**	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
FODER (ley de EERR distribuidas)	0	0	0	0	0	0
Cargo de comercialización***	0	0	2,4	2,4	4	4
Cargo de administración***	0	0	0,05	0,05	0,05	0
Precio final (USD/MWh)	86,3	83,2	86,8	88,1	87,7	88,9

Figura 5.1.13.1. Costo Medio de las compras conjuntas para GUH. Fuente:ADIMRA.

2) Si me quedo en CAMMESA > 20 MW	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Compra conjunta	75,57	72,42	73,65	74,91	72,88	74,12
Adicional potencia *	8	8	8	8	8	8
Energía adicional	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Cargo de sust y garantía	1	1	1	1	1	1
SCMEM **	0	0	0	0	0	0
Cargo Foninvenem + FNNE**	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
FODER (ley de EERR distribuidas)	0	0	0	0	0	0
Cargo de comercialización***	0	0	6	6	10	10
Cargo de administración	0	0	0,05	0,05	0,05	0
Precio final (USD/MWh)	86,3	83,2	90,4	91,7	93,7	94,9

Figura 5.1.13.2. Costo Medio de las compras conjuntas para GUH. Fuente:ADIMRA.

3) Si me voy de CAMMESA hasta 2020 por el 100% de la obligación de la Ley	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Contrato entre privados (U\$S/MWh)	65	65	65	65	65	65
Adicional potencia *	0	0	0	0	0	0
Energía adicional	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Cargo de sust y garantía	1	1	1	1	1	1
SCMEM **	0	0	0	0	0	0
Cargo Foninvenem + FNNE**	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
FODER (ley de EERR distribuidas)	0	0	0	0	0	0
Cargo de comercialización	0	0	0	0	0	0
Cargo de administración	0	0	0	0	0	0
Precio final (USD/MWh)	67,7	67,7	67,7	67,7	67,7	67,7

Figura 5.1.13.3. Costo Medio de las compras conjuntas para GUH. Fuente:ADIMRA.

Según las proyecciones de Latin Group Energy, los costos hasta 2032 para usuarios que participen de las compras conjuntas con potencias mayores y menores a 20 MW son:

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

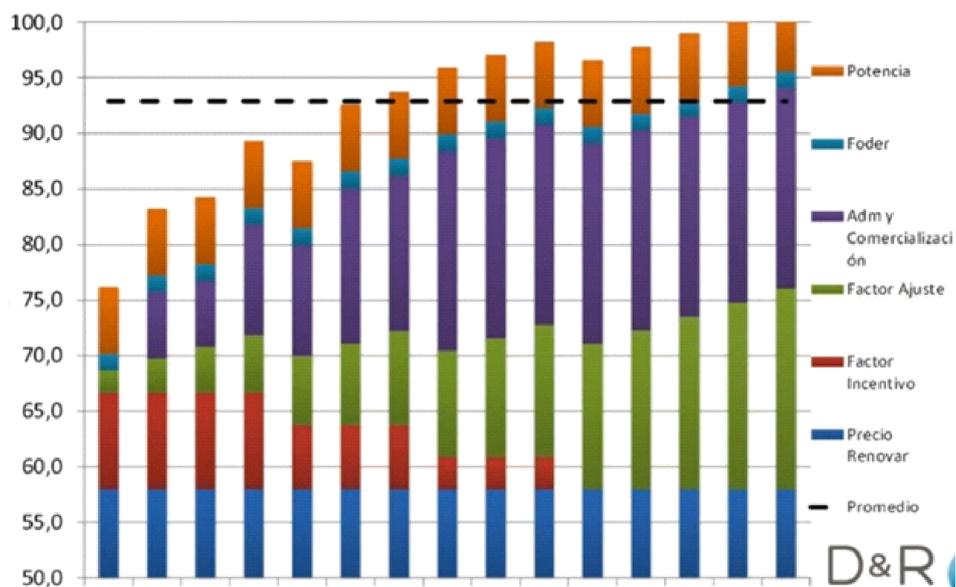


Figura 5.1.13.4. Costo Medio de las compras conjuntas para G.U.H. Fuente: Latin Energy Group.

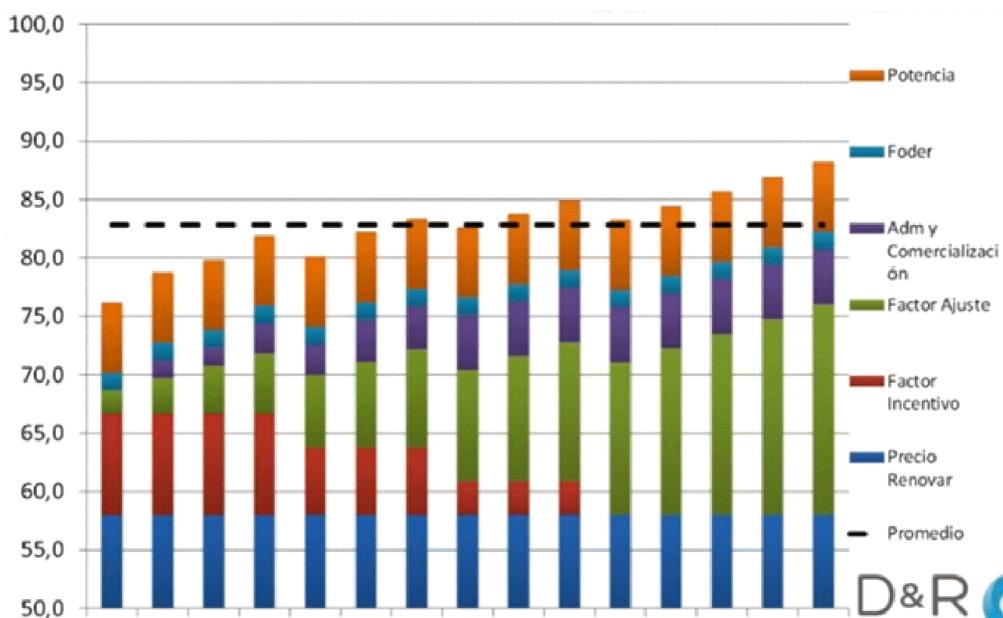


Figura 5.1.13.5. Costo Medio de las compras conjuntas para G.U.H. Fuente: Latin Energy Group.

En el caso de ingresar a un contrato en el MATER, los costos serían los siguientes:

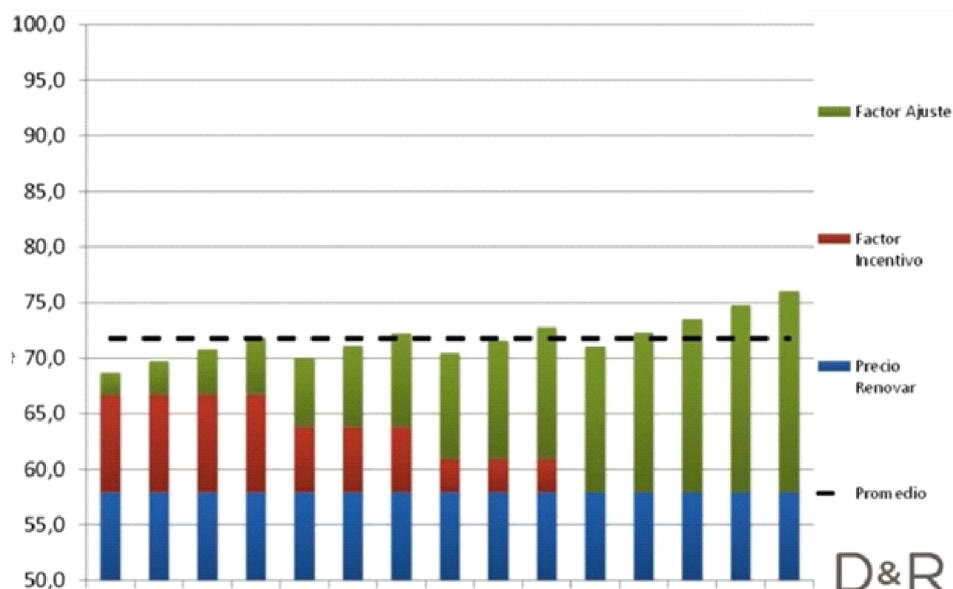


Figura 5.1.13.6. Costo Medio de las compras conjuntas para GUH. Fuente: Latin Energy Group.

5.1.14 Costo según fuente de energía

El costo de la generación de energía varía según la fuente utilizada. Para poder comparar el costo asociado a cada fuente se utiliza el indicador Levelized Cost of Energy (LCOE).

El índice LCOE contempla no solo los costos de operación y mantenimiento, sino también los de materia prima utilizada y los de inversión inicial. Estos costos se calculan para toda la vida útil del proyecto. Al comparar estos índices se deben tener en cuenta los supuestos realizados, como lo son supuestos financieros (tasas de descuento, costos de materias primas, etc.) y estimaciones de generación en los años considerados:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{It + Mt + Ft}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}} \quad (5.1.14.1)$$

It: Inversiones en el año t
 Mt: Costo de Op. Y Mantenimiento en el año t
 Ft: Gasto de combustibles en el año t
 Et: Genetación eléctrica en el año t
 r: tasa de descuento
 n: tiempo de vida en años del proyecto

En el mundo, las energías a partir de biogás presentan un LCOE de los más bajos:

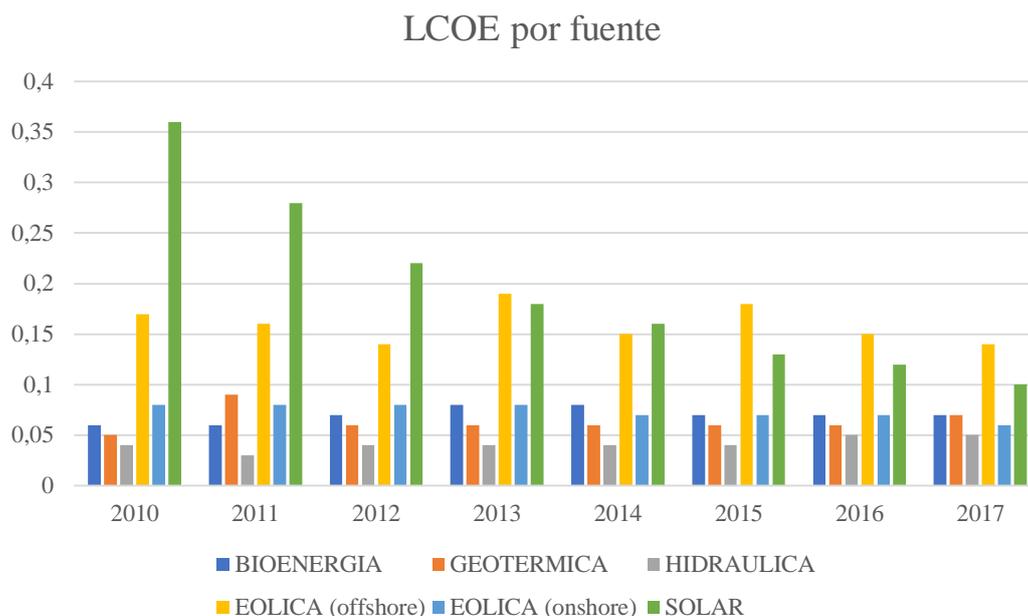


Figura 5.1.14.1. Índice de LCOE por fuente.

Comparado con las fuentes de energía convencionales, las energías renovables siguen siendo más caras, a pesar de haber disminuido sus costos en los últimos años.

5.2 ANEXO INGENIERÍA

5.2.1 Líquidos lixiviados

Una de las principales limitantes asociadas a la eficiencia de captación de un sistema de biogás de relleno sanitario es la presencia de líquido en el volumen influenciado por los pozos de captación. El lixiviado en rellenos sanitarios se genera debido a la liberación de agua de residuos en descomposición, precipitaciones sobre los residuos mientras el relleno se encuentra abierto (continúe la operación de descarga de basura) y una vez con cobertura intermedia o final, debido a la infiltración de agua desde la superficie por precipitaciones. Estos líquidos contienen materia orgánica, nitrógeno, fósforo, presencia de metales pesados y patógenos, entre otros elementos que lo hacen contaminante tanto para el suelo como para los cuerpos de agua. Es por esto por lo que es necesaria su recolección y posterior tratamiento.

Para la extracción de lixiviados en la red de captación de biogás se pueden utilizar tanto bombas sumergibles eléctricas como neumáticas. Las últimas resultan ser las más

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario adecuadas debido a su versatilidad operativa y condición intrínsecamente segura en interacción con biogás debido a la ausencia de conductores eléctricos.

La cantidad de condensado varía durante el año, siendo en invierno el periodo de mayor producción. En cada pozo vertical deberá utilizarse bombas sumergibles, las cuales se sumergen hasta 1 m por encima del fondo del pozo, asegurando que siempre exista un nivel de líquido sobre la bomba.

Todo el líquido condensado y lixiviado que fuera generado y extraído por la actividad de explotación de gas será transportado a los puntos designados por la CEAMSE, donde se realizará la gestión correspondiente para su tratamiento según regulación vigente.

La tasa de condensado suele estar entre 30 [ml] a 50 [ml] por metro cúbico de biogás. Los ductos de transporte de condensado que utiliza la empresa actualmente son de diámetros de 90 [mm] de MDPE y suelen tener una inclinación de al menos 3%. Las bombas de condensado deben tener dimensiones en función de la máxima pérdida de carga hasta la estación de tratamiento o almacenamiento del condensado. Las bombas que suelen usarse manejan entre 0,5 [m³/h] a 2,5 [m³/h] y tienen velocidades de descarga entre 0,5 [m/s] y 2,5 [m/s].

5.2.2 Diámetro de tuberías

Como se mencionó anteriormente, el valor recomendado para la velocidad del gas dentro de los tubos es de 12 m/s (USACE 2013), dado que superando esta velocidad no se puede asegurar la condensación del líquido en las paredes de los tubos. Para analizar la velocidad en las tuberías, se recurrió al software EPANET, programa desarrollado por la EPA para el análisis de cañerías de agua potable. Sin embargo, el fluido puede cambiarse realizando las modificaciones previamente mencionadas.

Luego de modificar las características del fluido, se debió esquematizar la red de tuberías del complejo. El esquema, que se presenta a continuación, muestra la red perimetral, y las cañerías colectoras. En los nodos de la red perimetral se colocan las subestaciones, mientras que en las cañerías colectoras se decidió poner un total de 4 nodos. A cada uno de estos confluye la recolección de biogás proveniente de aproximadamente 6 tubos. La cantidad de tubos en cada nodo se define en el período de instalación.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Los valores de los diámetros de los tubos recomendados (Scottish Environment Protection Agency, 2004) son:

- 50 mm a 100 mm de diámetro nominal para ductos laterales de pozos individuales.
- 300 mm de diámetro nominal para ductos que agrupan flujo de varios pozos.
- Más de 450 mm de diámetro nominal para ductos principales o anillos.

Por este motivo, se decide simular en el software mencionado los tubos colectores con un diámetro de 315 mm y la red perimetral con un diámetro de 500 mm, salvo los tramos entre el soplador y las primeras subestaciones de ambos lados que necesitan de un diámetro de 600 mm.

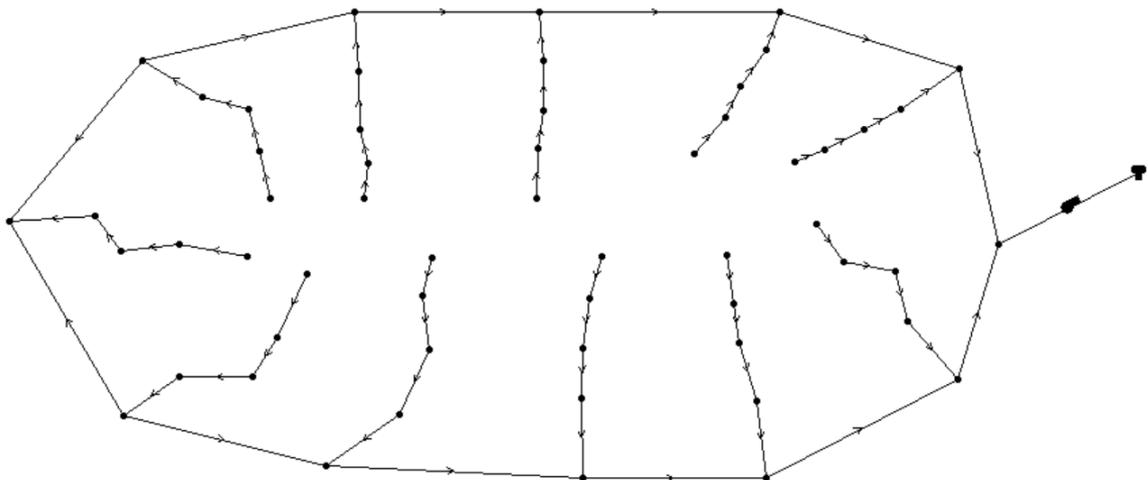


Figura 5.2.2.1. Red de tuberías perimetrales y secundarias. Elaboración propia.

Como puede notarse en la figura, se decide no mostrar los 270 pozos verticales sino sólo los nodos a los cuales a cada uno confluyen 6 pozos aproximadamente. Debe notarse que la figura solo es un esquema, debiéndose ingresar las longitudes de las tuberías individualmente. Para ello se tomó un promedio de las longitudes, suponiendo que entre subestaciones la longitud es de 348 metros y entre nodos de 273 metros. Cada nodo tiene un caudal de 80 l/s en promedio, puesto que a cada uno de ellos corresponde un total de 6 pozos verticales. Para el dimensionamiento del soplador, basto con indicar uno de los

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

puntos de su curva de funcionamiento a través de la altura y el caudal, generando la curva de funcionamiento automáticamente.

Al simular el comportamiento de la red, los valores obtenidos son los siguientes, observándose en cada tubería una velocidad menor a la máxima de 12 m/s:

Tabla de Red - Líneas								
ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s
Tubería 1	800,1	4,07	Tubería 21	160	2,05	Tubería 41	240	3,08
Tubería 2	480,1	2,45	Tubería 22	240	3,08	Tubería 42	320	4,11
Tubería 3	320	4,11	Tubería 23	320	4,11	Tubería 43	80	1,03
Tubería 4	240	3,08	Tubería 24	80	1,03	Tubería 44	160	2,05
Tubería 5	320	4,11	Tubería 25	160	2,05	Tubería 45	240	3,08
Tubería 6	479,9	2,44	Tubería 26	240	3,08	Tubería 46	320	4,11
Tubería 7	799,9	4,07	Tubería 27	320	4,11	Tubería 47	80	1,03
Tubería 8	1119,9	5,7	Tubería 28	80	1,03	Tubería 48	1759,9	6,22
Tubería 9	1439,9	7,33	Tubería 29	160	2,05	Tubería 49	160	2,05
Tubería 10	1760,1	6,23	Tubería 30	240	3,08	Tubería 50	80	1,03
Tubería 11	1440,1	7,33	Tubería 31	320	4,11	Tubería 51	80	1,03
Tubería 12	1120,1	5,7	Tubería 32	80	1,03	Tubería 52	160	2,05
Tubería 13	240	3,08	Tubería 33	160	2,05	Tubería 53	240	3,08
Tubería 14	160	2,05	Tubería 34	240	3,08	Tubería 54	320	4,11
Tubería 15	80	1,03	Tubería 35	320	4,11	Tubería 55	159,9	5,09
Tubería 16	80	1,03	Tubería 36	80	1,03	Tubería 56	160,1	5,1
Tubería 17	160	2,05	Tubería 37	160	2,05			
Tubería 18	240	3,08	Tubería 38	240	3,08			
Tubería 19	320	4,11	Tubería 39	320	4,11			
Tubería 20	80	1,03	Tubería 40	160	2,05			

Tabla 5.2.2.1. Velocidad y caudal en cada tubo.

Del simulador también se puede notar que a medida que se acerca al soplador, se encuentra que el caudal aumenta, por lo que al mantenerse el radio de la tubería también lo hace la velocidad. Si bien se podría plantear un cambio de diámetro, este no resulta necesario puesto que se cumple con las buenas prácticas del diseño de tuberías de relleno sanitario mencionadas anteriormente.

También es importante que, a través de los 270 pozos propuestos para la extracción de gas, el flujo de estos en el período de máxima captación (año 2022) está entre los valores recomendados de 25 y 75 m³/hr (Conestoga – Rovers, 2010). El valor máximo del flujo

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

para cada pozo es menor a 46 m³/h y mayor a 30 m³/h para las condiciones de máxima y mínima generación de biogás del proyecto.

Tabla 1. Diferentes especies de siloxanos encontrados en biogás de vertedero								
Species	Molecular Weight	% Silicon	Gas Concentration		Silicates Generated (as SiO ₂)			
			ppm v/v	mg/m ³	lb/Hr	Kg/H	lb/Yr	Kg/Yr
Tetramethylsilane	88.2	31.84	1.0	3.66	0.0013	0.0006	11.4	5.2
Trimethylsilanol	90.2	31.14	1.0	3.74	0.0013	0.0006	11.4	5.2
Tetramethyldisiloxane	134.3	41.82	1.0	5.57	0.0026	0.0012	22.9	10.4
Pentamethyldisiloxane	148.4	37.87	1.0	6.15	0.0026	0.0012	22.9	10.4
MM (L2)	162.4	34.60	1.0	6.73	0.0026	0.0012	22.9	10.4
Hexamethyltrisiloxane	208.5	40.42	1.0	8.64	0.0039	0.0018	34.3	15.6
MDM (L3)	236.5	35.63	1.0	9.80	0.0039	0.0018	34.3	15.6
MD2M (L4)	310.7	36.17	1.0	12.88	0.0052	0.0024	45.7	20.7
MD3M (L5)	384.9	36.50	1.0	15.95	0.0065	0.0030	57.2	25.9
D3	222.5	37.88	1.0	9.22	0.0039	0.0018	34.3	15.6
D4	296.6	37.88	1.0	12.29	0.0052	0.0024	45.7	20.7
D5	370.8	37.88	1.0	15.37	0.0065	0.0030	57.2	25.9
D6	444.9	37.88	1.0	18.44	0.0078	0.0036	68.6	31.1

Conditions: Silicates generated based on 238 Nm³/h for a 1 MW Generator Engine Temperatura

Tabla 5.2.2.2. Tipos de siloxanos presentes en rellenos sanitarios.

5.3 ANEXO ECONÓMICO – FINANCIERO

5.3.1 Estructura de pagos de CAMMESA

“Que debido a la consolidación del Programa RenovAr y su aceptación por los inversores, reflejada en la cantidad de ofertas presentadas en las rondas anteriores, sumado al historial de pagos mencionado en el párrafo anterior y la conveniencia de reducir la utilización de recursos públicos, resulta adecuado modificar el plazo de la garantía de pago otorgada por el FODER a NOVENTA (90) días de las obligaciones de pago mensuales que surjan de los Contratos de Abastecimiento celebrados por CAMMESA en el marco de esta nueva convocatoria, por considerarse que es suficiente respaldo de las obligaciones citadas.” (“Boletín oficial República Argentina - Ministerio de Hacienda Secretaria de Gobierno de Energía” - Resolución 100/2018", 2019).

Extracto de Ley provincial 14838

ARTÍCULO 1°: La Provincia de Buenos Aires adhiere a la Ley Nacional N° 26.190 y modificatoria Ley N° 27.191 "RÉGIMEN DE FOMENTO NACIONAL PARA EL USO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA DESTINADA A LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA".

ARTÍCULO 2°: Serán beneficiarios de la presente Ley las personas físicas y/o jurídicas que sean titulares de las inversiones y/o concesionarios de proyectos de instalación de centrales de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de fuentes renovables de energía con radicación en el territorio provincial, cuya producción esté destinada al Mercado Eléctrico Mayorista y/o la prestación de servicios públicos.

ARTÍCULO 3°: Los beneficiarios de la presente Ley, estarán exentos por el término de quince (15) años del pago de los siguientes impuestos:

I. Impuesto inmobiliario de aquellos inmuebles o parte de los mismos que se encuentren afectados a la instalación de centrales de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de fuentes renovables.

II. Impuesto de Sellos de aquellos actos o contratos específicos de la actividad de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de fuentes renovables.

III. Impuesto sobre los Ingresos Brutos, por la actividad de generación de energía eléctrica a partir del aprovechamiento de fuentes renovables.

Las exenciones antes mencionadas comenzarán a regir desde la aprobación del proyecto por parte de la Autoridad de Aplicación.

Para acceder a los beneficios establecidos en el presente artículo, deberá acreditarse la inexistencia de deuda de impuestos que por la presente se eximen o haberlas regularizado mediante su inclusión en regímenes de pago y estar cumpliendo con los mismos, en las formas y condiciones que establezca la Agencia de Recaudación de la Provincia de Buenos Aires (ARBA).

5.3.2 Costos de importación

Los costos de importación del soplador se exponen mediante la siguiente tabla:

Tratamiento arancelario		
AEC%	20%	Arancel Externo Común (AEC)
DIE %	20%	Derecho de importación extrazona (DIE)
TE %	2,5%	Tasa de estadística.
DII %	0%	Derecho de importación intrazona (DII)
IVA %	21%	Impuesto al valor agregado (IVA)
IVA Adic. %	20%	IVA Percepcion Adicional

IIBB	2,5%	Ingresos brutos
------	------	-----------------

Tabla 5.3.2.1. Aranceles de importación del soplador.

Los impuestos brutos no aplican al proyecto, dado que es uno de los beneficios del programa.

5.3.3 Opciones de financiamiento consideradas

5.3.3.1 Préstamo Verde del Banco Itaú

En diciembre del 2018, Itaú se convirtió en la primera entidad bancaria en la región en certificar los Préstamos Verdes (Green Loans) con fondos que otorga la Corporación Financiera Internacional (CFI), una organización hermana del Banco Mundial y miembro del Grupo Banco Mundial.

Estos préstamos tienen como objetivo financiar, total o parcialmente, proyectos verdes nuevos o existentes, que estén alineados con los principios de los Green Loan Principles (GLP), los cuales aseguran que los prestatarios apliquen los fondos a proyectos verdes y realicen evaluaciones e informes de acuerdo con los estándares internacionales. Gran parte del financiamiento es destinado a proyectos que brindan beneficios ambientales, entre ellos, proyectos vinculados con energías renovables (Itaú, 2019).

5.3.3.2 Préstamo del Banco de Inversión y Comercio Exterior (BICE)

El BICE cuenta con una línea especial de créditos para financiar a empresas que tengan proyectos adjudicados a través del programa RenovAr. El monto máximo para una empresa o grupo económico es de \$ 400.000.000 o, su equivalente en dólares. Financia hasta el 70% del monto total del proyecto (excluido el IVA), brinda un plazo máximo de 15 años, posee un período de gracia de 2 años y utiliza como sistema de amortización el francés o el Alemán. También, realiza con financiamientos con otros bancos para acompañar proyectos de mayor envergadura. (BICE, 2019)

En cuanto a la tasa, ofrece una tasa Libor (London InterBank Offered Rate) sumada a un Spread de entre 500 a 850 puntos básicos según plazo y proyecto. Cabe mencionar que el Libor dejará de existir para finales del 2021, ya que en los últimos años perdió relevancia

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

y credibilidad a la hora de reflejar adecuadamente el costo del dinero y servir de referencia para operaciones financieras, luego de que se descubriera la manipulación del indicador por parte de instituciones y altos ejecutivos en el período posterior a la crisis financiera del 2008. Esto representa un riesgo inminente para aquellas operaciones que se vayan a referenciar al Libor y que tengan un plazo de vencimiento mayor al 2021, como es el caso de este proyecto, por lo que se deberá analizar la forma de proceder, de tal forma de evitar el uso del Libor y sustituirlo por algún otro índice más objetivo y transparente, a fin de cerrar la incertidumbre que la extinción de la Libor pueda generar (Elizondo Soto, 2019).

Otras consideraciones a tener en cuenta sobre este préstamo son que cobra una comisión por estructuración del 1% sobre el valor del préstamo, la cual se deduce en oportunidad de efectuarse el primer desembolso, y que el beneficiario puede cancelar el crédito total o parcialmente en cualquier momento, para lo cual debe notificar fehacientemente al BICE con una anticipación no menor a los 5 días hábiles de la fecha en que desee realizar la cancelación anticipada.

5.3.3.3 Préstamo Banco Nación

Banco Nación otorga créditos en dólares a proyectos de inversión destinados al uso de fuentes renovables de energía para la producción de energía eléctrica. Ofrece un monto máximo de U\$S 6.000.000 a un plazo de hasta de 10 años. Financia hasta el 80% del proyecto, realiza múltiples desembolsos, a criterio del Banco, siendo el plazo máximo entre el primero y el último desembolso de 24 meses y posee un período de gracia de hasta 24 meses a partir del primer desembolso. Además, las garantías se establecen a satisfacción del Banco. El régimen de amortización que utiliza es el alemán, el Banco cobra una comisión del 1% y la tasa de interés es Libor (180 días) (Banco de la Nación Argentina, 2019).

5.3.3.4 Emisión de bonos

La emisión de bonos verdes es una nueva herramienta de financiamiento que busca promover aquellos proyectos vinculados a energías alternativas, eficiencia medioambiental, transporte limpio, gestión de residuos y adaptación al cambio climático, por lo que constituyen otra alternativa posible para financiar este proyecto.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Los bonos verdes presentan una tendencia creciente en Estados Unidos y en países de Europa. Sin embargo, la inestabilidad actual de Argentina es difícil lograr tasas de interés que en definitiva resulten atractivas para quienes deben proveer el equity (Fenés, 2019).

5.4 ANEXO RIESGO

5.4.1 Modelo de Contrato de Abastecimiento (CMMESA, 2019):

9.2 Abastecimiento de Energía Comprometida.

(a) El Vendedor deberá abastecer al Comprador, para cada Año de Producción, un volumen de Energía Abastecida igual o mayor a la Energía Comprometida para tal Año de Producción en las condiciones establecidas en el presente Contrato.

(b) Sin perjuicio del derecho de rescisión del Comprador de conformidad con lo establecido en la Cláusula 20.2 (b)(i) (Causales de Rescisión por el Comprador), en el caso que, durante cualquier Año de Producción, la Energía Abastecida sea menor a la Energía Comprometida, se observará lo siguiente:

(i) en el caso que la Energía Abastecida sea igual o mayor al noventa por ciento (90%) de la Energía Comprometida (la diferencia entre la Energía Comprometida y la Energía Abastecida para tal Año de Producción, una "Deficiencia de Abastecimiento Menor"), el Vendedor podrá abastecer la Energía Contratada necesaria para cubrir tal Deficiencia de Abastecimiento Menor durante el siguiente Año de Producción (el "Año de Recupero"); en el entendido que, si la Energía Abastecida durante el Año de Recupero es menor a la suma de la Energía Comprometida para el Año de Recupero más tal Deficiencia de Abastecimiento Menor, el Vendedor pagará al Comprador, dentro de los tres (3) primeros meses del Año de Producción posterior al Año de Recupero, una multa por deficiencia de abastecimiento por un importe igual al Costo de Deficiencia correspondiente multiplicado por la cantidad de megavatios-hora de diferencia entre (A) tal Deficiencia de Abastecimiento Menor y (B) el exceso, de existir, de la Energía Abastecida sobre la Energía Comprometida para el Año de Recupero; y

(ii) en el caso que la Energía Abastecida sea menor al noventa por ciento (90%) de la Energía Comprometida (la diferencia entre la Energía Comprometida y la Energía Abastecida para tal Año de Producción, una "Deficiencia de Abastecimiento Mayor"), se

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

seguirá el procedimiento previsto en el apartado (a) anterior respecto de la Deficiencia de Abastecimiento Menor comprendida en tal Deficiencia de Abastecimiento Mayor y el Vendedor pagará al Comprador, dentro de los tres (3) primeros meses posteriores a la finalización del Año de Producción en el que se verificó la Deficiencia de Abastecimiento Mayor, una multa por deficiencia de abastecimiento por un importe igual al Costo de Deficiencia correspondiente multiplicado por la cantidad de megavatios-hora de diferencia entre (A) la Deficiencia de Abastecimiento Mayor y (B) la Deficiencia de Abastecimiento Menor.

5.4.2 Programa RenovAr Ronda 1 (Pliego de Bases y Condiciones - 2016):

Suscripto el Contrato de Abastecimiento, aquella SPE que hubiese obtenido el Certificado de Inclusión en el Régimen de Fomento de Energías Renovables, quedará sujeta al procedimiento para el control de las inversiones y aplicación de los beneficios fiscales y eventualmente a las sanciones, establecidas en el Anexo II de la Resolución MEyM N° 72/2016 y Resolución Conjunta MEyM N° 123/2016 y MP N° 313/2016. Adicionalmente, en el caso que la Autoridad de Aplicación verificase un incumplimiento del CND, la SPE será pasible a una multa equivalente a un (1) mes de su facturación, (calculada como la Energía Comprometida / doce (12) meses x el Precio Ofertado) por cada punto porcentual de deficiencia en el cumplimiento del CND. Dicha multa será aplicable asimismo, a aquella SPE que no hubiese solicitado u obtenido el Certificado de Inclusión en el del Régimen de Fomento de Energías Renovables.

"Costo de Deficiencia" significa el costo variable de producción de un megavatio-hora correspondiente a la generación cuya fuente de combustible sea gasoil de origen importado, calculado como el promedio ponderado de los doce (12) meses de cada Año Calendario.

5.4.3 Venta de pliego de bases y condiciones RenovAr 2

Venta del Pliego de Bases y Condiciones

El PBC podrá adquirirse hasta la fecha indicada en el Cronograma, en las oficinas de CAMMESA sita en Av. E. Madero 942, Piso 1° de la Ciudad Autónoma de Buenos

Aires, de lunes a viernes en el horario de 10:00 a 16:00 horas. 4.2 El precio del PBC para habilitar la presentación de Proyectos que individualmente no superen los seis (6) MW

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario de potencia se establece en la suma de noventa mil Pesos (\$ 90.000) más IVA y para la presentación de Proyectos superiores individualmente a dicha potencia se establece en la suma de ciento ochenta mil Pesos (\$180.000) más IVA. En caso de que se presente más de un Proyecto con diferentes potencias el Oferente deberá abonar el precio del PBC correspondiente al Proyecto de mayor potencia. Dicho pago se realizará mediante cheque a favor de CAMMESA o mediante transferencia bancaria a la cuenta indicada.

5.4.4 Consumo y rendimientos de otras máquinas

Se tuvieron en cuenta además las variaciones de los rendimientos y pérdidas de flujo de otras máquinas. Estos no resultan ser significativos para el proyecto, representándose esto en el Tornado Chart.

Variable	Separador de fase
Razón	% de condensados
Distribución	Uniforme
Mínimo	0.5
Máximo	1.5
Media	0
Desvío	0

Tabla 5.4.4.1. Resumen de la variable 'Separador de fase'.

Variable	Filtros de carbono
Razón	% siloxanos
Distribución	Uniforme
Mínimo	0.5
Máximo	1.5
Media	0
Desvío	0

Tabla 5.4.4.2. Resumen de la variable 'Filtros de carbono'.

Variable	Filtro de partículas
Razón	% partículas
Distribución	Uniforme
Mínimo	0.5
Máximo	1.5
Media	0
Desvío	0

Tabla 5.4.4.3. Resumen de la variable 'Filtro de partículas'.

Variable	Demister
Razón	% de condensados y partículas
Distribución	Uniforme
Mínimo	0.85
Máximo	1.15
Media	0
Desvío	0

Tabla 5.4.4.4. Resumen de la variable 'Demister'.

Variable	Transformadores
Razón	Rendimiento transformador de MT/AT
Distribución	Uniforme
Mínimo	0.98
Máximo	1
Media	0
Desvío	0

Tabla 5.4.4.5. Resumen de la variable 'Transformadores'.

5.4.5 Tablas y gráficos Crystal Ball

RenovAr sin MATER

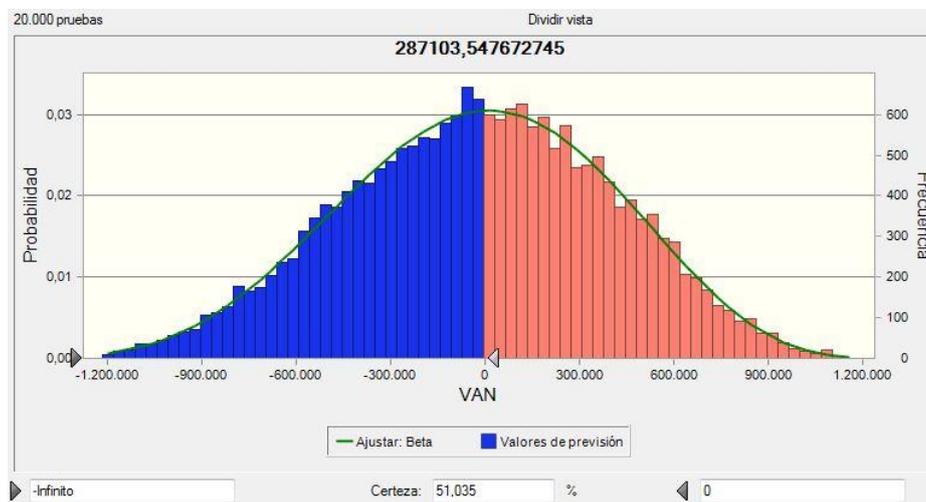


Figura 5.4.5.1. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr sin MATER.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20,000
Caso base	---	287,104
Media	-20,293	-20,293
Mediana	-10,917	-11,370
Modo	12,487	---
Desviación estándar	427,131	427,141
Varianza	182,440,552,081	182,449,674,565
Sesgo	-0,1091	-0,1091
Curtosis	2,61	2,61
Coficiente de variación	-21,05	-21,05
Mínimo	-1,719,950	-1,474,575
Máximo	1,357,081	1,180,337
Error estándar medio	---	3,020

Figura 5.4.5.2. Resumen de la simulación del escenario RenovAr sin MATER.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	.2751	---	Mínimo=-1,719,950,Máximo=1,357,081,Alfa=6,5
Weibull	2,3485	0,000	Ubicación=-1,579,948,Escala=1,718,826,Forma
Normal	12,4986	0,000	Media=-20,293,Desv est=427,141
Logarítmico nor	12,5183	0,000	Ubicación=-3,370,731,418,Media=-20,293,Desv
Gamma	16,2575	0,000	Ubicación=-13,554,965,Escala=13,548,Forma=9
Logística	36,7462	0,000	Media=-15,173,Escala=248,565
Extremo mínimo	138,9563	0,000	Más probable=190,992,Escala=402,481
Extremo máximo	244,0369	0,000	Más probable=-235,791,Escala=424,225
Beta PERT	258,8066	---	Mínimo=-1,487,468,Más probable=91,834,Máxi
Triangular	393,9979	---	Mínimo=-1,487,468,Más probable=91,834,Máxi
t de Student	498,6538	---	Punto medio=-20,293,Escala=180,770,Grados d
Uniforme	2.256,266	0,000	Mínimo=-1,474,708,Máximo=1,180,470
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.3. Resumen de la simulación del escenario RenovAr sin MATER.

RenovAr y MATER 1

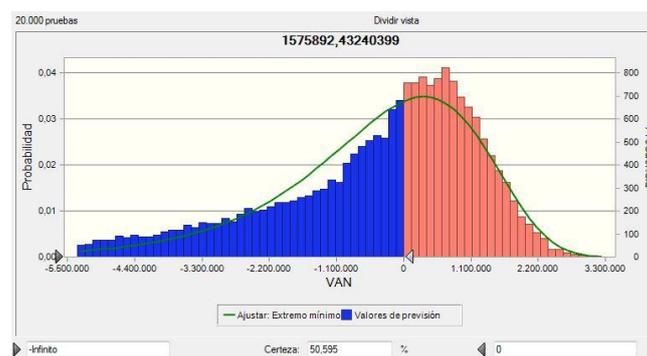


Figura 5.4.5.4. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr y MATER 1.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Extremo mínimo	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	1.575.892
Media	-435.528	-461.032
Mediana	-158.887	-20.949
Modo	322.322	---
Desviación estándar	1.683.912	1.743.559
Varianza	2.835.560.845.262	3.039.998.288.560
Sesgo	-1,14	-0,9771
Curtosis	5,40	3,52
Coefficiente de variación	-3,87	-3,78
Mínimo	-Infinito	-6.828.338
Máximo	Infinito	3.237.038
Error estándar medio	---	12.329

Figura 5.4.5.5. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr y MATER 1.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Extremo mínimo	61,6138	0,000	Más probable=322,322, Escala=1,312,941
Weibull	321,5570	0,000	Ubicación=-7,736,471, Escala=7,946,654, Forma
Logística	324,3735	0,000	Media=-259,420, Escala=980,792
t de Student	450,6548	---	Punto medio=-461,032, Escala=1,628,167, Grado
Normal	455,8442	0,000	Media=-461,032, Desv est=1,743,559
Gamma	490,4079	0,000	Ubicación=-56,471,692, Escala=56,067, Forma=9
Logarítmico nor	668,0860	0,000	Ubicación=-16,236,691, Media=-455,598, Desv e
Triangular	809,0476	---	Mínimo=-6,883,758, Más probable=810,149, Máxi
Beta PERT	992,5605	---	Mínimo=-8,760,365, Más probable=1,053,985, Má
Beta	994,9849	---	Mínimo=-8,760,365, Máximo=1,778,233, Alfa=4,0
Extremo máximo	1,074,244	0,000	Más probable=-1,404,856, Escala=2,042,122
Uniforme	3,523,690	0,000	Mínimo=-6,828,841, Máximo=3,237,541
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.6. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr y MATER 1.

RenovAr y MATER 2

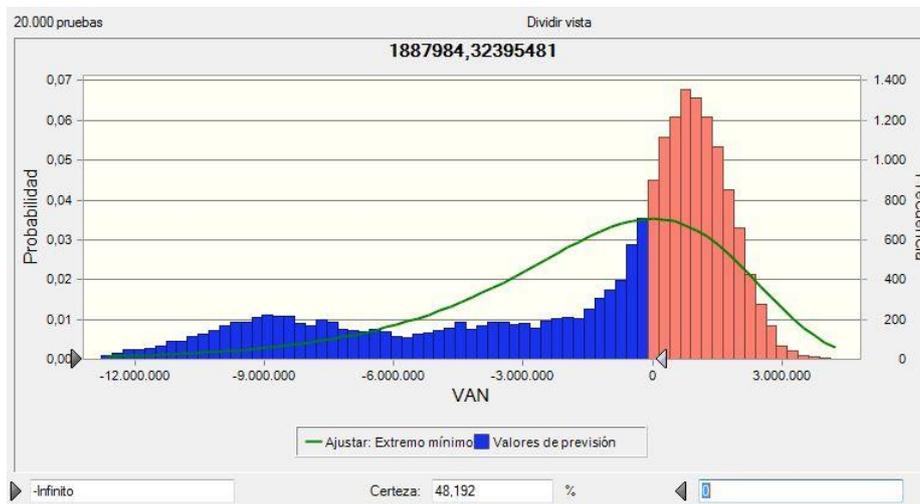


Figura 5.4.5.7. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr y MATER 2.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Extremo mínimo	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	1.887.984
Media	-1.477.828	-1.695.831
Mediana	-933.018	93.788
Modo	14.668	---
Desviación estándar	3.316.266	3.955.940
Varianza	10.997.617.060.764	15.649.464.854.050
Sesgo	-1,14	-1,12
Curtosis	5,40	3,01
Coefficiente de variación	-2,24	-2,33
Mínimo	-Infinito	-15.987.120
Máximo	Infinito	4.368.550
Error estándar medio	---	27.973

Figura 5.4.5.8. Resumen de la simulación del escenario RenovAr y MATER 2.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Extremo mínimo	874,7697	0,000	Más probable=14,668, Escala=2,585,682
Logística	1.144,444	0,000	Media=-1,012,087, Escala=2,281,781
Beta PERT	1.151,168	---	Mínimo=-16,106,577, Más probable=1,575,328, M
Weibull	1.159,645	0,000	Ubicación=-17,941,300, Escala=17,762,327, For
Normal	1.367,641	0,000	Media=-1,695,831, Desv est=3,955,940
t de Student	1.382,777	---	Punto medio=-1,695,831, Escala=3,821,802, Gra
Gamma	1.392,088	0,000	Ubicación=-129,015,419, Escala=127,447, Forma
Logarítmico nor	1.566,292	0,000	Ubicación=-35,014,065, Media=-1,680,859, Desv
Extremo máximo	1.701,645	0,000	Más probable=-3,859,014, Escala=4,552,238
Triangular	2.044,824	---	Mínimo=-16,106,577, Más probable=1,575,328, M
Uniforme	5.832,397	0,000	Mínimo=-15,988,138, Máximo=4,369,568
Beta	9.431,276	---	Mínimo=-12,011,318, Máximo=1,670,752, Alfa=0,
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.9. Resumen de la simulación del escenario RenovAr y MATER 2.

RenovAr sin MATER con geomembrana:

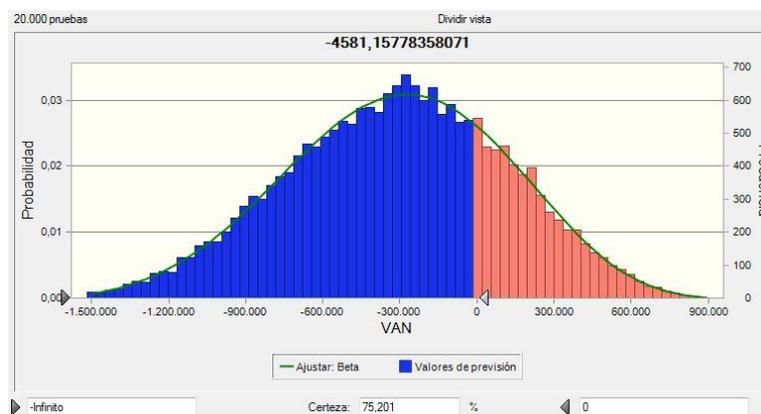


Figura 5.4.5.10. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr sin MATER con geomembrana.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	-4.581
Media	-311.620	-311.620
Mediana	-300.242	-297.240
Modo	-273.091	---
Desviación estándar	431.252	431.263
Varianza	185.978.390.088	185.987.689.472
Sesgo	-0,1357	-0,1357
Curtosis	2,69	2,69
Coefficiente de variación	-1,38	-1,38
Mínimo	-2.276.560	-1.808.197
Máximo	1.167.001	953.604
Error estándar medio	---	3.049

Figura 5.4.5.11 Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr sin MATER con geomembrana..

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	.2973	---	Mínimo=-2,276,560,Máximo=1,167,001,Alfa=8.3
Weibull	1,0912	0,000	Ubicación=-1,936,641,Escala=1,786,705,Forma
Normal	11,0840	0,000	Media=-311,620,Desv est=431,263
Logarítmico nor	11,1074	0,000	Ubicación=-3,552,296,020,Media=-311,620,Des
Gamma	15,6747	0,000	Ubicación=-13,983,146,Escala=13,685,Forma=9
Logística	32,5640	0,000	Media=-305,374,Escala=250,081
Extremo mínimo	134,6928	0,000	Más probable=-98,741,Escala=405,703
Extremo máximo	265,6962	0,000	Más probable=-529,698,Escala=433,394
Beta PERT	314,0019	---	Mínimo=-1,821,461,Más probable=-214,623,Máx
Triangular	468,5890	---	Mínimo=-1,821,461,Más probable=-214,623,Máx
t de Student	504,6504	---	Punto medio=-311,620,Escala=179,226,Grados
Uniforme	2.351,441	0,000	Mínimo=-1,808,335,Máximo=953,742
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.12 Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr sin MATER con geomembrana.

RenovAr con MATER 1 y geomembrana:

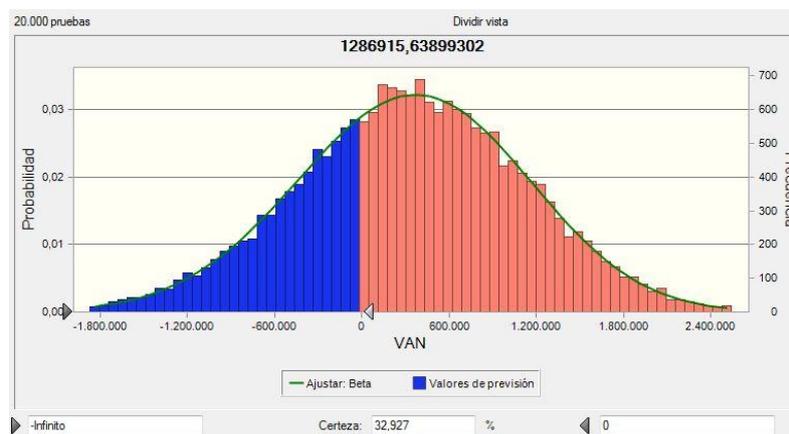


Figura 5.4.5.13. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 1 y uso de geomembrana.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	1.286.916
Media	336.413	336.413
Mediana	347.433	345.868
Modo	369.846	---
Desviación estándar	788.381	788.401
Varianza	621.545.046.009	621.576.124.816
Sesgo	-0,0825	-0,0825
Curtosis	2,97	2,97
Coefficiente de variación	2,34	2,34
Mínimo	-11.907.397	-2.808.113
Máximo	7.778.870	3.105.206
Error estándar medio	---	5,575

Figura 5.4.5.14. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 1 y uso de geomembrana.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	2,951	---	Mínimo=-11.907.397,Máximo=7.778.870,Alfa=9
Normal	1,7752	0,000	Media=336.413,Desv est=788.401
Logarítmico nor	1,7864	0,000	Ubicación=-7.772.514,010,Media=336.413,Desv
Gamma	4,9836	0,000	Ubicación=-24.639.703,Escala=25,001,Forma=9
Logística	14,5014	0,000	Media=342.518,Escala=451,236
Extremo mínimo	194,5521	0,000	Más probable=727.883,Escala=769,751
Extremo máximo	277,4186	0,000	Más probable=-60.688,Escala=800,487
t de Student	437,4882	---	Punto medio=336.413,Escala=325,520,Grados
Beta PERT	767,3969	---	Mínimo=-2.835.807,Más probable=436.551,Máxi
Triangular	957,0296	---	Mínimo=-2.835.807,Más probable=436.551,Máxi
Weibull	1.861,107	0,000	Ubicación=-2.808.366,Escala=3.085,144,Forma
Uniforme	2.954,162	0,000	Mínimo=-2.808.408,Máximo=3.105,502
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.15. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 1 y uso de geomembrana.

RenovAr con MATER 2 y geomembrana:

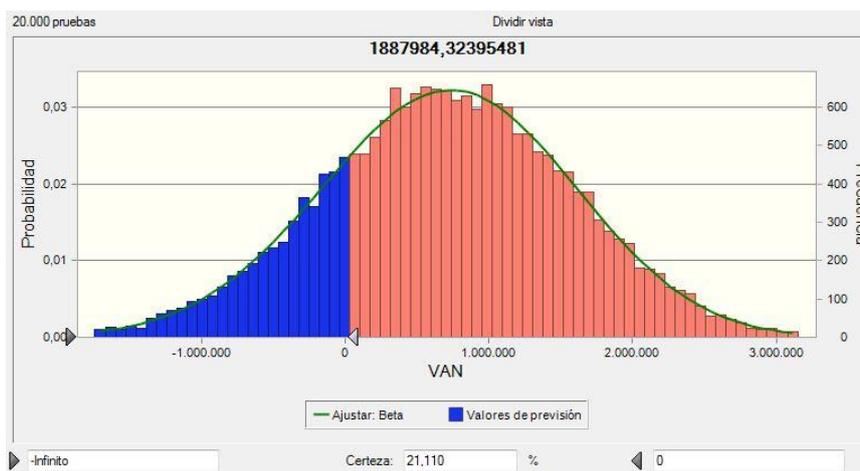


Figura 5.4.5.16 Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2 y uso de geomembrana.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	1.596.911
Media	704.099	704.099
Mediana	714.161	707.139
Modo	734.592	---
Desviación e	873.153	873.175
Varianza	762.395.656.811	762.433.778.500
Sesgo	-0,0681	-0,0681
Curtosis	2,97	2,97
Coefficiente d	1,24	1,24
Mínimo	-13.095.710	-2.514.018
Máximo	9.655.026	4.171.272
Error estándar	---	6.174

Figura 5.4.5.17. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr y MATER 2 y uso de geomembrana.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	.2284	---	Mínimo=-13,095,710,Máximo=9,655,026,Alfa=9
Normal	1,1778	0,000	Media=704,099,Desv est=873,175
Logarítmico nor	1,1853	0,000	Ubicación=-9,731,318,238,Media=704,099,Desv
Gamma	3,7978	0,000	Ubicación=-26,951,231,Escala=27,683,Forma=9
Logística	15,8044	0,000	Media=709,486,Escala=500,227
Extremo mínimo	200,0478	0,000	Más probable=1,137,977,Escala=857,246
Extremo máximo	265,7791	0,000	Más probable=264,862,Escala=884,002
Weibull	361,1353	0,000	Ubicación=-2,514,670,Escala=3,366,182,Forma
t de Student	441,7920	---	Punto medio=704,099,Escala=362,496,Grados
Beta PERT	834,8929	---	Mínimo=-2,543,104,Más probable=651,678,Máxi
Triangular	1.002,029	---	Mínimo=-2,543,104,Más probable=651,678,Máxi
Uniforme	2.982,661	0,000	Mínimo=-2,514,352,Máximo=4,171,606
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.18. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr y MATER 2 y uso de geomembrana.

RenovAr sin MATER con purificación:

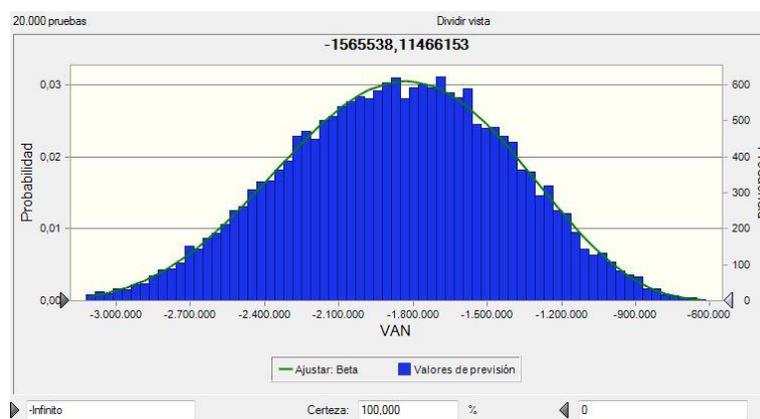


Figura 5.4.5.19. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr sin MATER con purificación.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	-1.565.538
Media	-1.867.788	-1.867.788
Mediana	-1.856.997	-1.856.934
Modo	-1.830.026	---
Desviación estándar	447.790	447.802
Varianza	200.516.195.307	200.526.221.618
Sesgo	-0,1197	-0,1197
Curtosis	2,61	2,61
Coefficiente de variación	-0,2397	-0,2397
Mínimo	-3.663.504	-3.488.037
Máximo	-441.218	-616.208
Error estándar medio	---	3.166

Figura 5.4.5.20. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr sin MATER con purificación.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	3,321	---	Mínimo=-3,663,504,Máximo=-441,218,Alfa=6,56
Weibull	2,6304	0,000	Ubicación=-3,524,230,Escala=1,823,120,Forma
Normal	14,2407	0,000	Media=-1,867,788,Desv est=447,802
Logarítmico nor	14,2630	0,000	Ubicación=-3,515,818,917,Media=-1,867,788,De
Gamma	18,3628	0,000	Ubicación=-16,059,659,Escala=14,206,Forma=9
Logística	39,4237	0,000	Media=-1,861,811,Escala=260,706
Extremo mínimo	132,8540	0,000	Más probable=-1,646,511,Escala=420,877
Extremo máximo	249,3244	0,000	Más probable=-2,093,866,Escala=446,059
Beta PERT	356,0639	---	Mínimo=-3,502,326,Más probable=-1,709,402,M
Triangular	504,8659	---	Mínimo=-3,502,326,Más probable=-1,709,402,M
t de Student	539,6519	---	Punto medio=-1,867,788,Escala=186,972,Grado
Uniforme	2.516,357	0,000	Mínimo=-3,488,181,Máximo=-616,065
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.21. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr sin MATER con purificación.

RenovAr con MATER 1 con purificación:

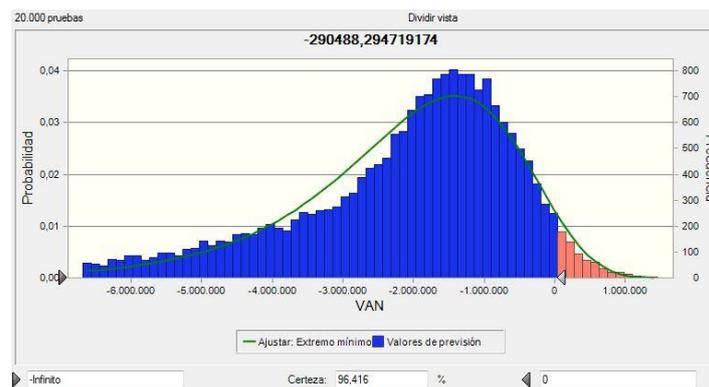


Figura 5.4.5.22. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 1 con purificación.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Extremo mínimo	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	-290.488
Media	-2.128.198	-2.144.225
Mediana	-1.868.745	-1.771.695
Modo	-1.417.432	---
Desviación estándar	1.579.293	1.621.664
Varianza	2.494.165.211.579	2.629.794.909.755
Seigo	-1,14	-1,03
Curtosis	5,40	3,85
Coefficiente de variación	-0,7421	-0,7563
Mínimo	-Infinito	-9.063.391
Máximo	Infinito	1.459.029
Error estándar medio	---	11.467

Figura 5.4.5.23. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 1 con purificación.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Extremo mínimo	39,2913	0,000	Más probable=-1,417,432, Escala=1,231,369
Weibull	220,1404	0,000	Ubicación=-10,859,893, Escala=9,372,039, Form
Logística	285,9362	0,000	Media=-1,961,311, Escala=901,460
t de Student	413,5837	---	Punto medio=-2,144,225, Escala=1,467,658, Gra
Normal	427,7218	0,000	Media=-2,144,225, Desv est=1,621,664
Gamma	464,8996	0,000	Ubicación=-54,286,181, Escala=52,194, Forma=9
Logarítmico nor	619,6232	0,000	Ubicación=-18,898,955, Media=-2,140,288, Desv
Beta	632,0989	---	Mínimo=-12,156,465, Máximo=57,499, Alfa=6,05
Beta PERT	756,9629	---	Mínimo=-9,121,813, Más probable=-943,022, Máx
Extremo máximo	1.111,018	0,000	Más probable=-3,024,916, Escala=1,942,246
Triangular	1.422,094	---	Mínimo=-9,121,813, Más probable=-943,022, Máx
Uniforme	4.554,645	0,000	Mínimo=-9,063,917, Máximo=1,459,555
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.24. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 1 con purificación.

RenovAr con MATER 2 con purificación:

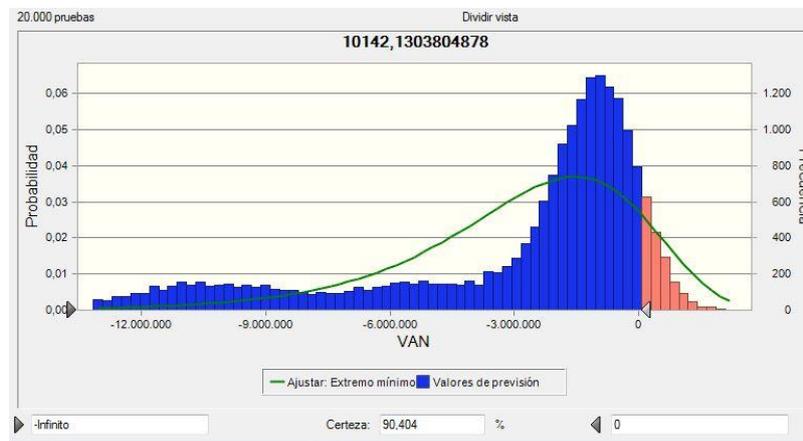


Figura 5.4.5.24. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2 y purificación de biogás

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Extremo mínimo	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	10.142
Media	-2.829.884	-3.048.242
Mediana	-2.359.821	-1.569.567
Modo	-1.542.156	---
Desviación e	2.861.280	3.612.707
Varianza	8.186.921.841.192	13.051.648.846.466
Sesgo	-1,14	-1,39
Curtosis	5,40	3,84
Coefficiente d	-1,01	-1,19
Mínimo	-Infinito	-18.033.726
Máximo	Infinito	2.312.927
Error estándar	---	25.546

Figura 5.4.5.25. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 2 y purificación de biogás.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Extremo mínimo	852,9208	0,000	Más probable=-1,542,156, Escala=2,230,931
Beta PERT	961,0480	---	Mínimo=-18,154,252, Más probable=-144,269, M
Weibull	1,207,791	0,000	Ubicación=-21,525,370, Escala=19,927,499, For
Logística	1,221,860	0,000	Media=-2,371,130, Escala=1,995,845
Normal	1,543,033	0,000	Media=-3,048,242, Desv est=3,612,707
t de Student	1,550,963	---	Punto medio=-3,048,242, Escala=3,271,260, Gra
Gamma	1,578,807	0,000	Ubicación=-119,820,356, Escala=116,889, Forma
Logarítmico nor	1,776,245	0,000	Ubicación=-37,052,242, Media=-3,034,804, Desv
Extremo máximo	2,014,779	0,000	Más probable=-5,060,769, Escala=4,397,426
Triangular	3,319,151	---	Mínimo=-18,154,252, Más probable=-144,269, M
Uniforme	7,802,754	0,000	Mínimo=-18,034,743, Máximo=2,313,944
Beta	9,629,746	---	Mínimo=-13,870,338, Máximo=-136,047, Alfa=1,1
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.26. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 2 y purificación de biogás.

RenovAr sin MATER con purificación y geomembrana:

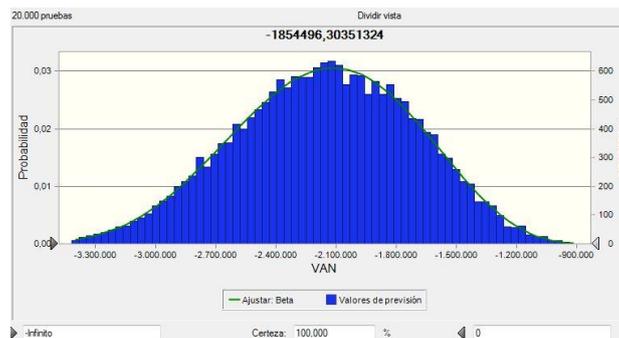


Figura 5.4.5.27. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr sin MATER y geomembrana.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	-1.854.496
Media	-2.158.551	-2.158.551
Mediana	-2.146.164	-2.147.341
Modo	-2.115.457	---
Desviación estándar	449.775	449.786
Varianza	202.297.465.430	202.307.580.809
Sesgo	-0,1376	-0,1376
Curtosis	2,63	2,63
Coefficiente de variación	-0,2084	-0,2084
Mínimo	-4.027.097	-3.607.496
Máximo	-729.540	-868.543
Error estándar medio	---	3.180

Figura 5.4.5.28. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr sin MATER y geomembrana.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	2,923	---	Mínimo=-4.027.097,Máximo=-729.540,Alfa=6,91
Weibull	2,6890	0,000	Ubicación=-3.856.679,Escala=1.867.469,Forma
Normal	14,4359	0,000	Media=-2.158.551,Desv est=449,786
Logarítmico nor	14,4594	0,000	Ubicación=-3.623.575,823,Media=-2.158.551,De
Gamma	18,8706	0,000	Ubicación=-16.417.305,Escala=14.273,Forma=9
Logística	38,4507	0,000	Media=-2.151.854,Escala=261.635
Extremo mínimo	128,2154	0,000	Más probable=-1.936.652,Escala=421,261
Beta PERT	200,1711	---	Mínimo=-3.620.427,Más probable=-2.080.303,M
Extremo máximo	259,3675	0,000	Más probable=-2.386.049,Escala=450,131
Triangular	321,8481	---	Mínimo=-3.620.427,Más probable=-2.080.303,M
t de Student	525,3802	---	Punto medio=-2.158.551,Escala=187.945,Grado
Uniforme	2.072,236	0,000	Mínimo=-3.607.633,Máximo=868.406
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.29. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr sin MATER y geomembranas.

RenovAr con MATER 1 con purificación y geomembrana:

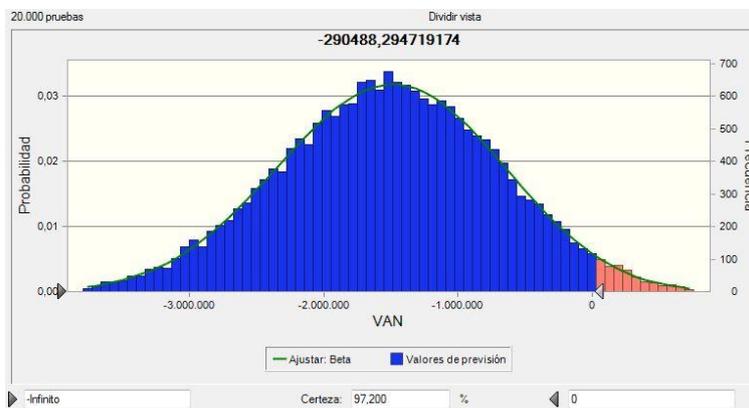


Figura 5.4.5.30. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 1 geomembrana y purificación de biogás

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	-576.054
Media	-1.518.438	-1.518.438
Mediana	-1.508.692	-1.509.489
Modo	-1.487.914	---
Desviación estándar	812.401	812.421
Varianza	659.995.079.128	660.028.080.532
Sesgo	-0,0677	-0,0677
Curtosis	2,86	2,86
Coefficiente de variación	-0,5350	-0,5350
Mínimo	-7.221.295	-4.567.571
Máximo	3.066.671	1.380.645
Error estándar medio	---	5.745

Figura 5.4.5.31. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 1, purificación y geomembrana.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	.1320	---	Mínimo=-7.221.295,Máximo=3.066.671,Alfa=21.
Normal	1,9898	0,000	Media=-1.518.438,Desv est=812.421
Logarítmico nor	1,9991	0,000	Ubicación=-8.139.661,132,Media=-1.518.438,De
Gamma	4,7269	0,000	Ubicación=-27.247.821,Escala=25.755,Forma=9
Logística	19,4680	0,000	Media=-1.512.985,Escala=467,292
Extremo mínimo	185,1543	0,000	Más probable=-1.114.626,Escala=789,481
Extremo máximo	252,4365	0,000	Más probable=-1.926.970,Escala=816,025
t de Student	447,2228	---	Punto medio=-1.518.438,Escala=339.999,Grado
Weibull	660,6666	0,000	Ubicación=-4.568.008,Escala=3.130,736,Forma
Beta PERT	679,6101	---	Mínimo=-4.594.709,Más probable=-1.470.262,M
Triangular	840,8299	---	Mínimo=-4.594.709,Más probable=-1.470.262,M
Uniforme	2.789,811	0,000	Mínimo=-4.567.869,Máximo=1.380,943
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.32. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 1, purificación y geomembrana.

RenovAr con MATER 2 con estudio de suelos:

Estadística	Ajustar: Extremo mínimo	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	1.877.318
Media	-1.120.096	-1.342.022
Mediana	-633.181	215.625
Modo	213.797	---
Desviación e	2.963.855	3.707.501
Varianza	8.784.438.781.565	13.745.566.039.945
Sesgo	-1,14	-1,34
Curtosis	5,40	3,70
Coefficiente d	-2,65	-2,76
Mínimo	-Infinito	-15.682.800
Máximo	Infinito	4.542.363
Error estándar	---	26.216

Figura 5.4.5.33. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr y MATER 2 con realización del estudio de suelos.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

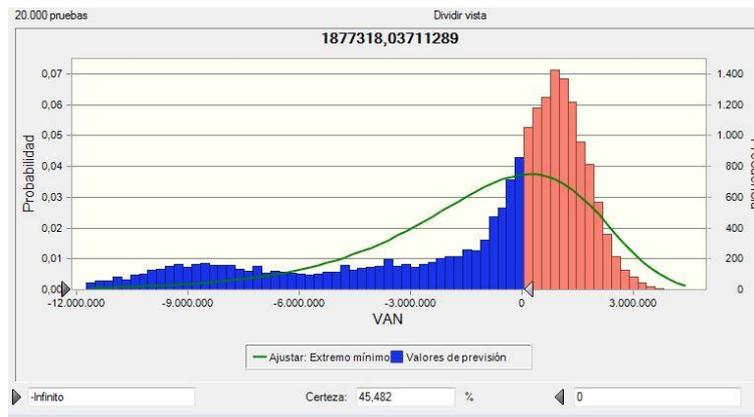


Figura 5.4.5.34. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr y MATER 2 con realización de estudio de suelos.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Extremo mínimo	864,3438	0,000	Más probable=213,797, Escala=2,310,909
Logística	1,205,316	0,000	Media=-652,302, Escala=2,064,453
Weibull	1,232,811	0,000	Ubicación=-18,229,104, Escala=18,343,075, For
Normal	1,503,756	0,000	Media=-1,342,022, Dev est=3,707,501
t de Student	1,516,568	---	Punto medio=-1,342,022, Escala=3,398,321, Gra
Gamma	1,536,870	0,000	Ubicación=-121,090,104, Escala=119,868, Forma
Logarítmico nor	1,735,577	0,000	Ubicación=-34,587,757, Media=-1,327,090, Devs
Extremo máximo	1,947,279	0,000	Más probable=-3,400,786, Escala=4,476,046
Triangular	2,616,923	---	Mínimo=-15,800,654, Más probable=1,519,882, M
Uniforme	6,422,989	0,000	Mínimo=-15,683,811, Máximo=4,543,374
Beta	9,874,295	---	Mínimo=-12,335,192, Máximo=1,657,904, Alfa=1,
Beta PERT	13,155,04	---	Mínimo=-12,335,192, Más probable=656,289, Má
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.35. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr y MATER 2 con realización de estudio de suelos.

RenovAr con MATER 2, geomembrana y estudio de suelos:

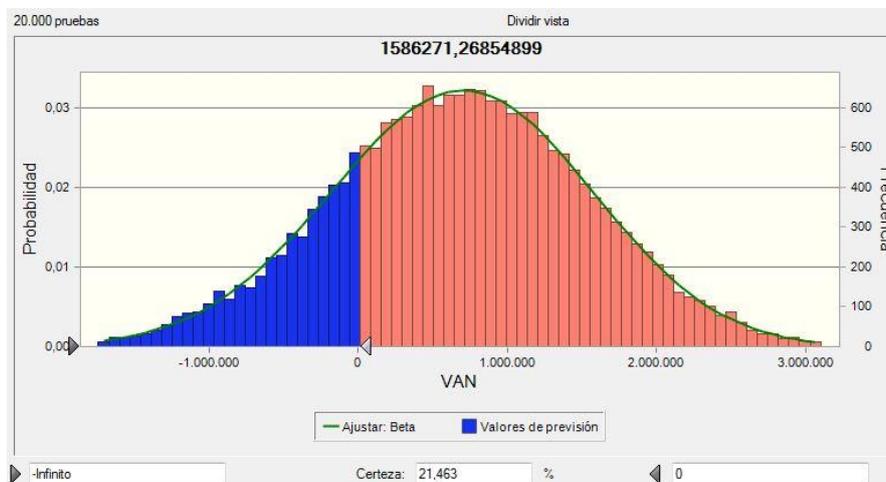


Figura 5.4.5.36. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2, uso geomembrana y estudio de suelos.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	1.586.271
Media	679.484	679.484
Mediana	688.190	688.548
Modo	705.977	---
Desviación e	863.722	863.744
Varianza	746.016.121.796	746.053.424.468
Sesgo	-0,0592	-0,0592
Curtosis	2,95	2,95
Coefficiente d	1,27	1,27
Mínimo	-10.187.690	-2.378.979
Máximo	8.577.897	3.925.691
Error estándar	---	6.108

Figura 5.4.5.37. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 2, uso de geomembrana y estudio de suelos.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	0,1718	---	Mínimo=-10.187.690,Máximo=8.577.897,Alfa=6
Normal	0,9831	0,012	Media=679.484,Desv est=863.744
Logarítmico nor	0,9904	0,000	Ubicación=-9.111.202.286,Media=679.484,Desv
Gamma	3,4586	0,000	Ubicación=-26.672.744,Escala=27.380,Forma=9
Logística	15,9667	0,000	Media=684.272,Escala=494.960
Weibull	70,4751	0,000	Ubicación=-2.380.700,Escala=3.300.093,Forma
Extremo mínimo	201,9621	0,000	Más probable=1.109.138,Escala=847.945
Extremo máximo	260,6307	0,000	Más probable=245.287,Escala=871.327
t de Student	444,0926	---	Punto medio=679.484,Escala=359.534,Grados
Beta PERT	683,2562	---	Mínimo=-2.406.579,Más probable=643.478,Máxi
Triangular	847,2171	---	Mínimo=-2.406.579,Más probable=643.478,Máxi
Uniforme	2.790,135	0,000	Mínimo=-2.379.295,Máximo=3.926.006
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.38. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 2, uso de geomembrana y estudio de suelos.

RenovAr con MATER 2 con pesificación y con ajuste por inflación:

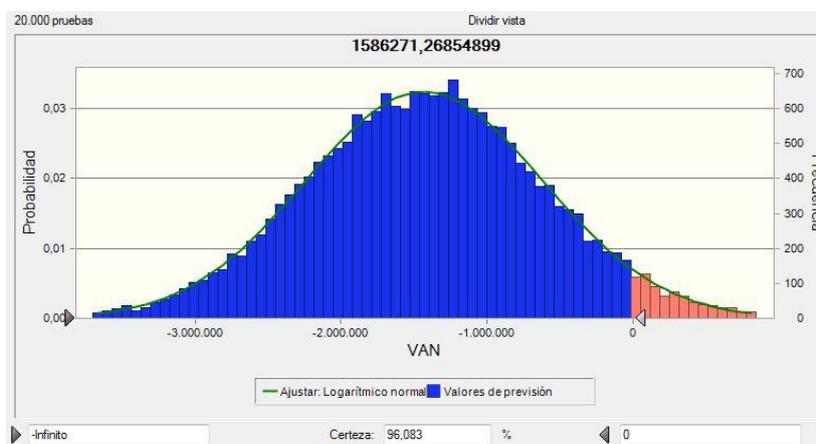


Figura 5.4.5.39. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2, pesificación y con ajuste por inflación.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Logarítmico normal	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	-438.345
Media	-1.426.886	-1.426.886
Mediana	-1.428.278	-1.422.017
Modo	-1.431.064	---
Desviación e	812.597	812.598
Varianza	660.314.540.167	660.314.790.268
Sesgo	0,0103	0,0105
Curtosis	3,00	3,04
Coficiente d	-0,5695	-0,5695
Mínimo	-238.464.599	-4.403.436
Máximo	Infinito	1.704.654
Error estándar	---	5.746

Figura 5.4.5.40. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr y MATER 2, con pesificación y ajuste por inflación.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Logarítmico nor	.3098	0,461	Ubicación=-238,464,599,Media=-1,426,886,Des
Normal	,3259	0,532	Media=-1,426,886,Desv est=812,598
Beta	,4448	---	Mínimo=-12,947,156,Máximo=10,093,385,Alfa=
Gamma	,9758	0,000	Ubicación=-27,132,406,Escala=25,731,Forma=9
t de Student	1,1641	---	Punto medio=-1,426,886,Escala=785,044,Grado
Logística	13,2989	0,000	Media=-1,427,551,Escala=464,256
Extremo máximo	236,5605	0,000	Más probable=-1,832,979,Escala=811,824
Extremo mínimo	247,5643	0,000	Más probable=-1,020,143,Escala=816,590
Beta PERT	786,5506	---	Mínimo=-4,430,244,Más probable=-1,460,082,M
Triangular	946,5078	---	Mínimo=-4,430,244,Más probable=-1,460,082,M
Weibull	1,944,346	0,000	Ubicación=-4,403,663,Escala=2,894,359,Forma
Uniforme	2,907,536	0,000	Mínimo=-4,403,742,Máximo=1,704,959
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.41. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr y MATER 2, con pesificación y ajuste por inflación.

RenovAr con MATER 2 con pesificación y sin ajuste:

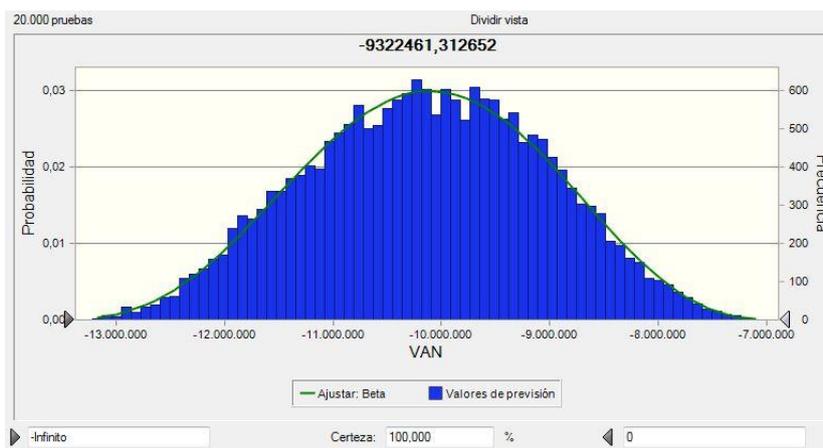


Figura 5.4.5.42. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2, pesificación y sin ajuste por inflación.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	-9.322.461
Media	-10.137.595	-10.137.595
Mediana	-10.127.770	-10.124.511
Modo	-10.101.311	---
Desviación e	1.101.870	1.101.897
Varianza	1.214.117.283.316	1.214.177.992.216
Sesgo	-0,0420	-0,0420
Curtosis	2,50	2,50
Coefficiente d	-0,1087	-0,1087
Mínimo	-13.762.818	-13.989.972
Máximo	-6.768.522	-6.176.377
Error estándar	---	7.792

Figura 5.4.5.43. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 2, pesificación y sin ajuste por inflación.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	1,4950	---	Mínimo=-13,762,818,Máximo=-6,768,522,Alfa=4
Normal	19,6005	0,000	Media=-10,137,595,Desv est=1,101,897
Logarítmico nor	19,6109	0,000	Ubicación=-11,129,237,415,Media=-10,137,595,
Gamma	22,2420	0,000	Ubicación=-45,014,520,Escala=34,912,Forma=9
Logística	49,0620	0,000	Media=-10,130,381,Escala=645,396
Weibull	114,0380	0,000	Ubicación=-13,991,333,Escala=4,135,603,Form
Extremo mínimo	150,6416	0,000	Más probable=-9,589,770,Escala=1,051,275
Extremo máximo	207,9234	0,000	Más probable=-10,690,005,Escala=1,067,638
Beta PERT	225,5601	---	Mínimo=-13,762,818,Más probable=-10,073,557
t de Student	557,7853	---	Punto medio=-10,137,595,Escala=464,902,Grad
Triangular	698,1554	---	Mínimo=-14,024,617,Más probable=-10,147,036
Uniforme	2.619,209	0,000	Mínimo=-13,990,363,Máximo=-6,175,986
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.44. Resumen y bondad de ajuste del VAN para el escenario de RenovAr con MATER 2, pesificación y sin ajuste por inflación.

RenovAr con MATER 2 pero sin cumplimiento de ley RenovAr:

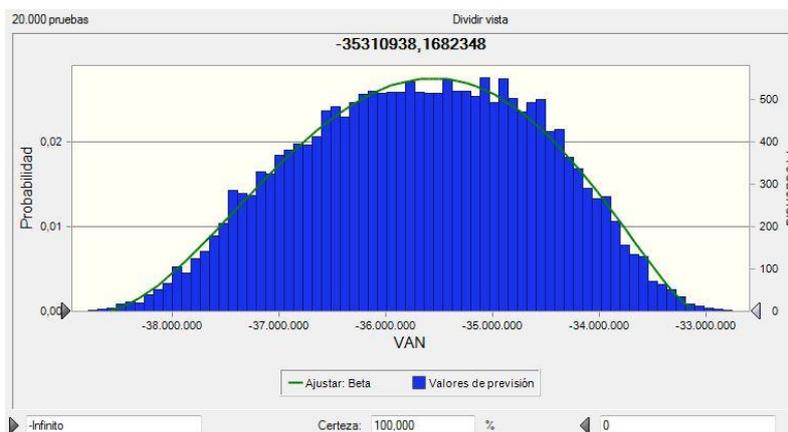


Figura 5.4.5.45. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2 pero sin el cumplimiento de la ley renovable.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20.000
Caso base	---	-35.310.938
Media	-35.680.358	-35.680.358
Mediana	-35.654.106	-35.652.994
Modo	-35.560.876	---
Desviación e	1.112.417	1.112.445
Varianza	1.237.472.142.938	1.237.534.019.639
Sesgo	-0,0955	-0,0955
Curtosis	2,28	2,28
Coefficiente d	-0,0312	-0,0312
Mínimo	-38.648.131	-38.873.849
Máximo	-33.094.976	-32.755.740
Error estándar	---	7.866

Figura 5.4.5.46. Resumen para el escenario de RenovAr con MATER 2 pero si no se cumple la ley renovable.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	3,1196	---	Mínimo=-38,648,131,Máximo=-33,094,976,Alfa=
Weibull	30,3047	0,000	Ubicación=-39,675,680,Escala=4,414,186,Form
Beta PERT	37,1954	---	Mínimo=-38,648,131,Más probable=-35,584,760
Normal	53,3843	0,000	Media=-35,680,358,Desv est=1,112,445
Logaritmico nor	53,4044	0,000	Ubicación=-8,245,730,136,Media=-35,680,358,D
Gamma	56,5676	0,000	Ubicación=-70,916,857,Escala=35,272,Forma=9
Logistica	85,9595	0,000	Media=-35,666,335,Escala=660,373
Triangular	105,6470	---	Mínimo=-38,902,771,Más probable=-35,453,482
Extremo mínimo	130,5748	0,000	Más probable=-35,130,467,Escala=1,024,859
Extremo máximo	222,4206	0,000	Más probable=-36,240,202,Escala=1,073,012
t de Student	665,0843	---	Punto medio=-35,680,358,Escala=471,724,Grad
Uniforme	1.583,365	0,000	Mínimo=-38,874,154,Máximo=-32,755,434
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.5.47. Resumen para el escenario de RenovAr con MATER 2 pero si no se cumple la ley renovable.

5.4.6 Van medio nulo con mitigación

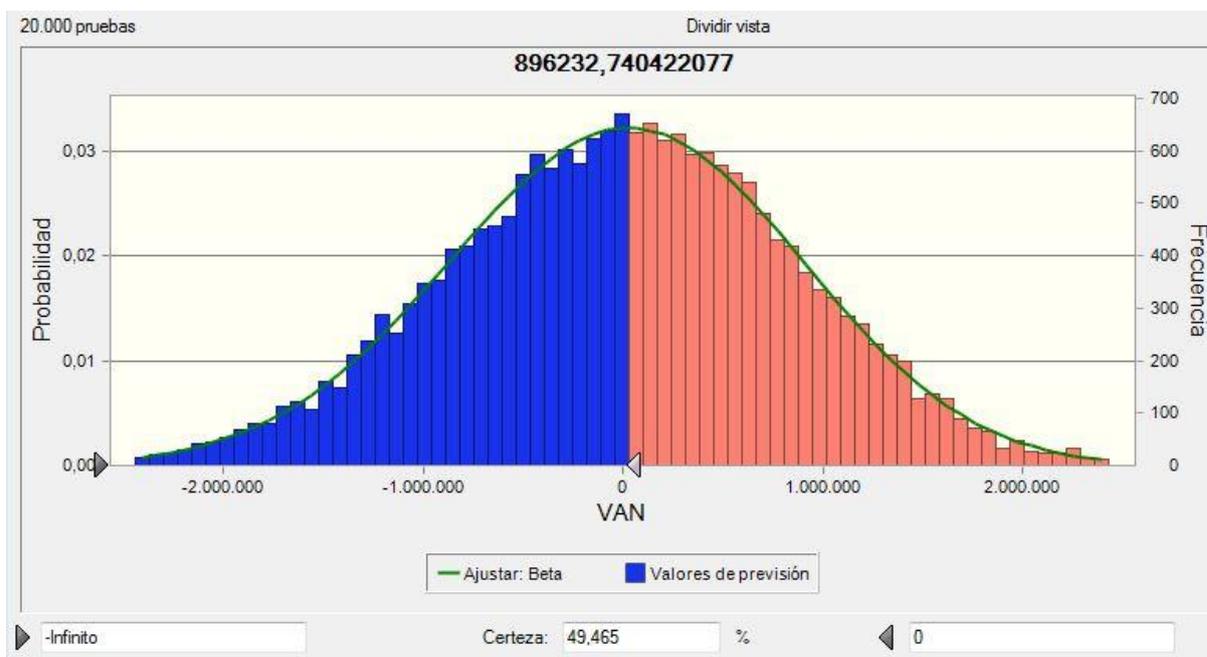


Figura 5.4.6.1. Simulación de Montecarlo para el escenario de RenovAr con MATER 2 y mitigación completa para VAN medio nulo.

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	20,000
Caso base	---	896,233
Media	-5,381	-5,381
Mediana	5,179	13,332
Modo	26,800	---
Desviación estándar	870,851	870,873
Varianza	758,381,187,698	758,419,108,654
Sesgo	-0,0711	-0,0711
Curtosis	2,95	2,95
Coefficiente de variación	-161,83	-161,84
Mínimo	-10,724,144	-3,802,319
Máximo	7,428,659	3,177,595
Error estándar medio	---	6,158

Figura 5.4.6.2. Resumen para el escenario de RenovAr con MATER 2 y mitigación completa para VAN medio nulo.

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	Parámetros
Beta	.4118	---	Mínimo=-10,724,144,Máximo=7,428,659,Alfa=6
Normal	2,4626	0,000	Media=-5,381,Desv est=870,873
Logarítmico nor	2,4748	0,000	Ubicación=-8,935,943,329,Media=-5,381,Desv e
Gamma	5,9284	0,000	Ubicación=-27,588,533,Escala=27,611,Forma=9
Logística	17,9618	0,000	Media=1,783,Escala=499,359
Extremo mínimo	190,2099	0,000	Más probable=427,221,Escala=853,989
Extremo máximo	269,6118	0,000	Más probable=-443,534,Escala=880,237
t de Student	453,1865	---	Punto medio=-5,381,Escala=360,752,Grados de
Beta PERT	977,3084	---	Mínimo=-3,835,571,Más probable=160,673,Máxi
Triangular	1,191,200	---	Mínimo=-3,835,571,Más probable=160,673,Máxi
Uniforme	3,265,023	0,000	Mínimo=-3,802,668,Máximo=3,177,944
Weibull	7,133,700	0,000	Ubicación=-3,802,455,Escala=3,367,597,Forma
Pareto	---	---	Sin ajuste
Exponencial	---	---	Sin ajuste

Figura 5.4.6.3. Resumen para el escenario de RenovAr con MATER 2 y mitigación completa para VAN medio nulo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Amini, H. (2012, enero 17-19). Evaluating Landfill Gas Collection Efficiency Uncertainty. Recuperado de https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-06/documents/19reinhardt_lmop_2012.pdf
- CAMMESA (2019). Modelo de contrato de Abastecimiento. Recuperado el 20 de octubre del 2019, de <http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/Modelo%20de%20Contrato%20de%20Abastecimiento%20RenovAr%20Ronda1.pdf>
- CAMMESA (2017). Programa RenovAr ronda 2, Pliego de bases y condiciones. Recuperado de <http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/RenovAr2/Pliego%20de%20Bases%20y%20Condiciones%20RenovAr%202016-2017.pdf>

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Conestoga – Rovers & Associates (2010). Landfill Gas Management Facilities Design Guidelines. British Columbia Ministry of Environment, Canada.

Environmental Protection Agency (2012). International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects. USA.

EPA. (2015). LMOP Landfill Gas Energy Cost Model (LFGcost-Web) User's Manual, Version 3.2.

Grande, C. A. (2011). Biogas Upgrading by Pressure Swing Adsorption. Recuperado de <https://www.intechopen.com/books/biofuel-s-engineering-process-technology/biogas-upgrading-by-pressure-swing-adsorption#B2>

Marconi, A., Maria, L., Ezequiel, I., Lucia, M., & Alejandro, D. (2019). Proyecto Geotérmico Copahue Estudio de Prefactibilidad (pp. 407, 408). ITBA.

Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación (2017). Pago a Generadores del MEM. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/dias_de_retraso_promedio_desde_vencimiento_vs._garantia_de_pago_foder_2000_-_2017.pdf

Scheirs, J. (Ed.) (2009) A Guide to Polymeric Geomembranes: A Practical Approach. United Kingdom: Editorial John Wiley and Sons Ltd. Recuperado de https://books.google.com.ar/books?id=8sMyv0ZogKkC&pg=PA372&lpg=PA372&dq=geomembranes+por+landfills&source=bl&ots=MKVCFfIwM4&sig=ACfU3U0oPAQ392-vM_IY3AT98kKNsZqSRA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwittu7G6KrlAhUMHbkGHYC4DfcQ6AEwCHoECACQBA#v=onepage&q=geomembranes%20por%20landfills&f=false

Shirley Thompson, Jennifer Sawyer, Rathan Bonam y J.E. Valdivia. (2009). Building a better methane generation model. Waste Management, Elsevier.

US Army Corps of Engineers. (2013). Landfill Gas Collection and treatment systems. Recuperado de

https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_200-1-22.pdf?ver=2013-09-05-152155-217

Zurita, A. (2016, febrero 8) Experiencia alemana en el aprovechamiento energético de residuos municipales. Recuperado de <http://www.proyectomesoamerica.org:8088/ems/documentos/Capacitaciones/ForoTecCDMX/Bloque%20III.%20Experiencia%20alemana%20en%20el%20aprovechamiento%20energetico%20de%20residuos%20municipales%20-%20Alvaro%20Zurita%20GIZ.pdf>

World Bank Group (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Descargado de <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>

República Argentina, Ministerio de Salud y Ambiente, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2005). Estrategia Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos. Descargado de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/preservacion-control/gestionresiduos/estrategianacional>

República Argentina, Ministerio de Salud y Ambiente, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2016). Mapas Críticos Gestión de Residuos. Recuperado de <http://observatoriorsu.ambiente.gob.ar/146.pdf>

Presidencia de la Nación, Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. Información Legislativa. Ley de Residuos. Recuperado de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/95000-99999/98327/norma.htm>

FIUBA, CEAMSE. (2011). Estudio de calidad de los residuos sólidos del área metropolitana de Buenos Aires. Recuperado en <http://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2012/06/Tercer-Informe-ECRSU-AMBA.pdf>

FIUBA, CEAMSE. (2016). Estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Recuperado en <http://www.ceamse.gov.ar/wp-content/uploads/2017/10/I.Final-ECRSU-CABA-FIUBA-2015-NOV-16.pdf>

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

CAMMESA. (2016). Programa RenovAr Ronda 1, Pliego de Bases y Condiciones. Recuperado de [http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/RenovAr/RenovAr%20Ronda%201%20-PBC%20con%20Anexos%20\(vf%2025-07-16\).pdf](http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/RenovAr/RenovAr%20Ronda%201%20-PBC%20con%20Anexos%20(vf%2025-07-16).pdf)

CAMMESA. (2017). Programa RenovAr Ronda 2, Pliego de Bases y Condiciones. Recuperado de <http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/RenovAr2/Pliego%20de%20Bases%20y%20Condiciones%20RenovAr%202%20-%20CAMMESA%2016%20ago%202017.pdf>

CAMMESA. (2019). Programa RenovAr MiniRen/Ronda 3, Pliego de Bases y Condiciones. Recuperado de <https://licitaciones.cammesa.com/wp-content/uploads/2019/03/MiniRen-PBC-con-Anexos-Texto-Ordenado-Res-90-2019.pdf>

CAMMESA. (2017). Anexo Régimen del mercado a término de energía eléctrica de fuente renovable. Recuperado de <http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/ANEXO%20Res%20MINEM%20281%20E-2017.pdf>

República Argentina, Ministerio de Hacienda, Secretaria de Gobierno de Energía. (2019). Resolución 230/2019. Recuperado de <http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/Mater/RESOL-2019-230-APN-SGE-MHA.pdf>

BrainStudio. (13 de diciembre de 2018). Fuentes Renovables. Cómo funciona el Sistema Argentino de Interconexión. Clarín. Recuperado de https://www.clarin.com/brandstudio/funciona-sistema-argentino-interconexion_0_VbMUXj-vH.html

Ministerio de Energía Presidencia de la Nación. (). Adjudicaciones del Programa RenovAr. Recuperado de <https://public.tableau.com/profile/datosenergia#!/vizhome/AdjudicacionesRenovArMINEMArgentina/AdjudicacionesRenovArArgentina>

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Ministerio de Energía Presidencia de la Nación. (). Precios Adjudicados del Programa RenovAr. Rondas 1, 1.5 y 2. Recuperado de <https://www.minem.gob.ar/www/833/25871/precios-adjudicados-del-programa-renovar>

Ministerio de Hacienda. (8 de abril de 2019). Ya hay más de 1.000 MW nuevos de energías renovables en operación comercial. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/ya-hay-mas-de-1000-mw-nuevos-de-energias-renovables-en-operacion-comercial>

Ministerio de Energía y Minería Presidencia de la Nación. (29 de Diciembre de 2017). Adjudicaciones de proyectos de energías renovables - Programa RenovAr - MINEM Argentina. Recuperado de <https://public.tableau.com/profile/datosenergia#!/vizhome/AdjudicacionesRenovArMINEMArgentina/AdjudicacionesRenovArArgentina>

UNSAM (sf) La industria del aluminio en Argentina. Recuperado de http://www.unsam.edu.ar/escuelas/economia/economia_regional/La_industria_del_aluminio_Argentina.pdf

Soporte de MiniTab. (s.f.). Recuperado el 13 de abril de 2019, de <http://support.minitab.com/es->

CAMMESA (sf) Grandes Usuarios. Recuperado de: <http://portalweb.CAMMESA.com/pages/institucional/agentes/grandesUsuarios.aspx>

Energía Estratégica (10 de julio del 2017) Mercado entre privados: los «puntos clave» de la comercialización de renovables. Recuperado de <http://www.energiaestrategica.com/las-claves-economicas-legales-del-borrador-regula-comercializacion-energia-renovable-privados/>

Resolución 136 - E/2016: Energía Eléctrica de Fuentes Renovables. Convocatoria Abierta Nacional e Internacional, Buenos Aires, Argentina. 25 de julio de 2016

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Energía Estratégica (12 de enero 2018) El Gobierno reglamenta el registro de proveedores de energías renovables. Recuperado de <http://www.energiaestrategica.com/gobierno-reglamenta-registro-proveedores-energias-renovables/>

Tavarone, Rovelli Salim & Miani (6 de junio del 2017) Energías Renovables: Proyecto de Regulación del mercado entre privados. Recuperado de <http://www.trsym.com/energias-renovables-proyecto-de-regulacion-del-mercado-entre-privados/>

Infobae (16 de marzo de 2018) Noruega y Suecia importan basura para producir energía. Recuperado de <https://www.infobae.com/mix5411/2018/03/16/noruega-y-suecia-se-quedan-sin-basura-y-la-importan-para-producir-energia/>

CAMMESA. (2019). Informe mensual febrero 2019. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual diciembre 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual noviembre 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual octubre 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual septiembre 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual agosto 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual julio 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual junio 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual mayo 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual abril 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual marzo 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual febrero 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2018). Informe mensual enero 2018. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2017). Informe anual 2017. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2016). Informe anual 2016. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2015). Informe anual 2015. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2014). Informe anual 2014. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2013). Informe anual 2013. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2012). Informe anual 2012. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2011). Informe anual 2011. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2010). Informe anual 2010. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2009). Informe anual 2009. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2008). Informe anual 2008. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2007). Informe anual 2007. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2006). Informe anual 2006. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2005). Informe anual 2005. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2004). Informe anual 2004. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2003). Informe anual 2003. Recuperado de www.cammesa.com

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

CAMMESA. (2002). Informe anual 2002. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2001). Informe anual 2001. Recuperado de www.cammesa.com

CAMMESA. (2000). Informe anual 2000. Recuperado de www.cammesa.com

Ministerio de Energía y Minería (sf) Precio Mayorista de la energía eléctrica.
Recuperado de https://www.minem.gob.ar/servicios/archivos/6886/AS_14817236511.pdf

Patagonia.net (4 de octubre de 2018) ¿Por qué el gas natural en Argentina está entre los más caros del mundo? Recuperado de <https://patagonia.net/columnista/por-que-el-gas-natural-en-argentina-esta-entre-los-mas-caros-del-mundo/>

Lee, J. P. (2017). Crisis de la energía eléctrica Argentina: evaluación de acciones y soluciones (Tesis de grado). Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Ministerio de Energía y Minería (sf) Precios adjudicados del Programa RenovAr. Rondas 1, 1.5 y 2. Recuperado de <https://www.minem.gob.ar/www/833/25871/precios-adjudicados-del-programa-renovar>

Energía Estratégica (5 de junio de 2017) Normativas: publican el borrador del mercado de energía renovable entre privados. Recuperado de <http://www.energiaestrategica.com/gobierno-publico-borrador-la-reglamentacion-fomenta-mercado-energia-renovable-privados/>

Resolución 136 - E/2016: Energía Eléctrica de Fuentes Renovables. Convocatoria Abierta Nacional e Internacional, Buenos Aires, Argentina. 25 de julio de 2016

Resolución MEyM 281-E-2017: Mercado a término renovable, Buenos Aires, Argentina. 18 de agosto de 2017.

LEnergyGroup (10 de diciembre de 2017). Energías Renovables: la guía completa de la industria. Recuperado de <http://www.lenergygroup.com/energias-renovables-la-guia-completa-para-la-industria/>

Energía Estratégica (9 de enero de 2019) Las complejidades del MATER: ¿comienza un período de ocaso del mercado privado de energías renovables? Recuperado de <http://www.energiaestrategica.com/las-complejidades-del-mater-comienza-un-periodo-de-ocaso-del-mercado-privado-de-energias-renovables/>

Ministerio de Hacienda (15 de noviembre de 2018) El programa RenovAr lanza la ronda 3. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-programa-renovar-lanza-su-ronda-3>

Energía Estratégica (28 de marzo de 2019) Central Puerto se quedó con la licitación para proveer de energía renovable a AySA: renegocian precio y plazo del contrato. Recuperado de <http://www.energiaestrategica.com/central-puerto-se-queda-con-la-licitacion-para-proveer-de-energia-renovable-a-aysa-pero-el-contrato-continua-en-negociaciones/>

International Renewable Energy Agency (sf) Global weighed average total investment costs, capacity factors and LCOE 2010-2017. Recuperado de <https://www.irena.org/ourwork/Knowledge-Data-Statistics/Data-Statistics/Costs/Global-Trends>

Codina, SL. (2019). Desnebulizadores. Recuperado de <http://codina.testboxcom.com/producto/desnebulizadores-o-demisters/>

Arax. (2019). Intercambiador de calor de placas. Recuperado de https://www.edelflex.com/archivos/descargas/387/ES_ARAX.pdf

Cabanzón Lavat, J. (2018). Diseño y cálculo de un intercambiador de calor. Recuperado de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/13702/407960.pdf?sequence=1>

González Mendizabal, D. (2002). Intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones. Recuperado de <https://es.slideshare.net/yumardiaz/intercambiadores-decalortiposgeneralesyaplicaciones>

Tecnología Química, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. (2007). Análisis del intercambiador de calor de placas enfriador de mosto en la cervecera "Tínima". (Vol. XXVII, No. 3). Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543754009.pdf>

Camargo, Y., & Vélez, A. (24 de septiembre de 2009). Emisiones de biogás en rellenos sanitarios. REDISA. Recuperado de <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biog%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf>

Desotec. (s.f.). Carbonología. Recuperado de <https://www.desotec.com/es/carbonologia/casos/remoci-n-de-siloxanos-del-biog-s>

Inoxfer. (s.f.). Ciclones. Recuperado de <http://www.teyco-comercial.com/ciclones/>

Ciria, J. I., & Aranzabe, E. (s.f.). Siloxanos en motores de gas. Lubrication Management. Obtenido de http://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/Siloxanos_motores_gas_ES.pdf

Corrales, L. C., Antolínez Romero, D. M., Bohórquez Macías, J. A., & Corredor Vargas, A. M. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Scielo. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>

El conflicto por la basura: una bomba de tiempo. (23 de Noviembre de 2012). Argentina. Recuperado de <https://www.cronista.com/we/El-conflicto-por-la-basurauna-bomba-de-tiempo-20121123-0014.html>

Airdep (s.f.). Filtro de velas. Recuperado de <https://www.airdep.eu/es/filtri-statici-es/filtro-de-velas/>

Progeco s.r.l. (s.f.). Filtros de biogás. Recuperado de <https://www.progecosrl.com/es/filtros-de-biogas.html>

Herminio, L., Morís, A., González Azpíroz, L., & González, E. (31 de Marzo de 2010). Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento de biogás. Obtenido de [http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/7559B244B63EB155C125753F0058E255/\\$FILE/Cap1.pdf](http://213.229.136.11/bases/ainia_probiogas.nsf/0/7559B244B63EB155C125753F0058E255/$FILE/Cap1.pdf)

Benito Roggio Ambiental (2016). Historia. Recuperado de <https://www.bra.com.ar/Spanish/QuienesSomos/Pages/Historia.aspx>

Condorchem (s.f.). Los siloxanos en el biogás: origen, efecto y tratamientos. Recuperado de <https://blog.condorchem.com/tratamiento-siloxanos-biogas/#origin>

Mayanga, W. C., & Bonilla, K. S. (20 de Mayo de 2007). Generación y manejo de gases en sitios de disposición final. Recuperado de <http://www.ingenieriaquimica.org/system/files/relleno-sanitario.pdf>

Prado, B. F. (2014). Ingeniería básica de una planta de acondicionamiento de biogás para uso en pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC). Recuperado de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90166/fichero/Memoria+TFG.pdf>

Raúl, M. (30 de Mayo de 2014). Tratamiento biológico, alternativa para eliminar compuestos perjudiciales para el aprovechamiento energético del biogás. Obtenido de <http://www.i-ambiente.es/?q=blogs/tratamiento-biologico-alternativa-para-eliminar-compuestos-perjudiciales-para-el>

Scharff, H., & Gronert, R. (Abril de 2015). Documento guía sobre la reducción de las emisiones de gases de vertedero. Recuperado de http://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/guia_gas_vertederos/es_def/adjuntos/guia_gas_vertederos.pdf

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Abedini, A. R. (2014). Integrated approach for accurate quantification of methane generation at municipal solid waste landfills. University of British Columbia. Vancouver, Canadá.

Environmental Protection Agency (2012). International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects. USA.

González, J. (2014), Alternativas de captación y tratamiento del biogás en el vertedero de Piedras Blancas (práctica supervisada). Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

Daniel Arriaza (2016). Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Polietileno Tigre (2011). Manual técnico Polietileno Tigre. Recuperado de <https://www.tigre.com.ar/themes/tigre2016/downloads/catalogos-tecnicos/argentina/catalogo-pehd.pdf>

WestSystems (s.f.). Monitoreo Ambiental. Recuperado de <https://www.westsystems.eu/es/monitoreo-ambiental/vertederos.html>

Ingeniería Ambiental (s.f.). Suministro de equipos. Recuperado de <http://vcrambiental.com/equipos/>

DASTECS (s.f.). Analizador en línea de la composición de Biogás. Recuperado de <https://www.dastecsrl.com.ar/productos/analizadores-de-gases/biogas-mediciones-1/awiflex-cool-analizador-en-linea-de-la-composicion-de-biogas>

ARES Control (s.f.). Sistema de calidad de gas natural. Recuperado de <https://www.arescontrol.com/sistema-de-monitoreo-calidad-de-gas-natural/>

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Daniel Arriaza (2016), Modelo para el diseño de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás producido en rellenos sanitarios. Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.

Gonçalves Mendes, A. (2016). Sustentar tv. Recuperado de: <https://www.sustentartv.com/>

Scottish Environment Protection Agency (2004). Guidance on the management of landfill gas. Bristol, Reino Unido.

Beelan (2017). Haciendo IoT con LoRa: Capítulo 2.- Tipos y Clases de Nodos. Recuperado de <https://medium.com/beelan/haciendo-iot-con-lora-capitulo-2-tipos-y-clases-de-nodos-3856aba0e5be>

Analizador de Biogás GEM5000 LANDTEC (s.f.). Recuperado de <http://www.ayt.cl/catalogo-de-productos/analizadores-de-gases/analizadores-de-biogas/analizadores-portatiles-de-biogas/analizador-de-biogas-gem5000-landtec/>

Analizador Portátil de Biogás Transdox 5100A (s.f.). Recuperado de <https://www.amperis.com/productos/miscelanea/analizadores-gas/biogas-transdox-5100a/>

Analizador BIOGÁS 5000 (s.f.). Recuperado de <https://www.amperis.com/productos/miscelanea/analizadores-gas/biogas-transdox-5100a/>

Analizadores de Biogás Portátiles (s.f.). Recuperado de <https://www.fonotest.com/analizadores-de-biogas-portatiles.php>

Banco de la Nación Argentina (2019). Proyectos de inversión destinados al uso de fuentes renovables de energía para la producción de energía eléctrica. [online] Bna.com.ar. Disponible el 21 de septiembre de 2019 en <http://www.bna.com.ar/Empresas/Pymes/Creditos>

BICE (2019). Inversión en Energías Renovables – BICE. [online] Disponible en: <https://www.bice.com.ar/productos/inversion-en-energias-renovables/> [Acceso 21 Sep. 2019].

Boletín Oficial de la República Argentina - Ministerio de Hacienda, Secretaría de Gobierno de Energía - Resolución 100/2018. (2019). Recuperado el 11 de Septiembre 2019, de <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/195941/20181115>

Buenos Negocios. (2019). IVA para principiantes. Recuperado de <https://www.buenosnegocios.com/notas/manejo-del-dinero/iva-principiantes-n215>

Ceteri, J. (2019). Cuánto es el impuesto al cheque y cómo se puede pagar menos. Recuperado el 6 de septiembre de 2019 en https://www.clarin.com/economia/economia/impuesto-cheque-puede-pagar_0_X4tk-MVCT.html

Elizondo Soto, M. (2019). El Libor dejará de existir en el 2021. [online] Larepublica.net. Disponible el 21 de septiembre de 2019 en <https://www.larepublica.net/noticia/el-libor-dejara-de-existir-en-el-2021>

Fenés, G. (2019). La CNV abrió el mercado de los bonos verdes: empresarios encuentran una alternativa para financiar energías renovables | Energía Estratégica. [online] Energía Estratégica. Disponible en <http://www.energiaestrategica.com/la-cnv-abrio-el-mercado-de-los-bonos-verdes-empresarios-encuentran-una-alternativa-para-financiar-energias-renovables/>

Flores, O. (2019). Ganancias: ¿cuál es la tasa para empresas? El Cronista. Recuperado de <https://www.cronista.com/columnistas/Ganancias-cual-es-la-tasa-para-empresas-20190423-0042.html>

Luz y Fuerza. (2019). Convenio Colectivo de Trabajo 728/15. Recuperado el 21 de septiembre de 2019 en <http://www.triviasp.com.ar/files/conv72815.html>

Ministerio del Interior. (2015). La estructura de la recaudación municipal en la Argentina: alcances, limitaciones y desafíos (p. 72). Recuperado de <https://www.mininterior.gov.ar/municipios/pdfs/Estructura%20Recaudacion%20Municipal.pdf>

Instalación de una planta de producción de energía eléctrica a partir de biogás de relleno sanitario

Municipalidad General San Martín. (2019). Ordenanza impositiva. San Martín. Recuperado de <http://www.sanmartin.gov.ar/uploads/1547669737-Ordenanza%20Impositiva%20%202019.pdf>

Salario. (2019). Recuperado el 21 de septiembre de 2019 en <https://www.argentina.gob.ar/trabajo/buscastrabajo/salario>

Secretaria de Energías Renovables. (2016). Circular sobre beneficios fiscales e instructivo - ANEXO 1 Respuestas remitidas por CAMMESA (p. 2). Buenos Aires. Recuperado de <http://portalweb.cammesa.com/Documentos%20compartidos/Noticias/RenovAr/Adjunto%201%20Circular%205%20Nota%20SSER%20%20sobre%20Beneficios%20Fiscales%20e%20Instructivo.pdf>

Zona Campo. (2019). La Provincia reglamentó beneficios fiscales para proyectos de energías renovables. Recuperado de <https://www.zonacampo.com.ar/provinciales-y-nacionales/para-proyectos-de-energias-renovables>

InfoLEG - Ministerio de Economía y Finanzas Públicas - Argentina. (2019). Recuperado el 22 de septiembre de 2019 en <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm>