

Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

**Gobierno de La Pampa
Consejo Federal de Inversiones**

**PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA -
CSR / Biomasa**

La Pampa - Argentina

Tomo I - Ingeniería Conceptual

Informe de avance

Enero 2020 - Rev. A

Control de revisiones					
Fecha	Ejecutó	Aprobó	Fecha	Rev	Descripción
30-12-19	ET	AG	30-12-19	A	Enviado para revisión LP-CFI
				B	
				C	
				0	
				1	
Cliente:	Gobierno de La Pampa Consejo Federal de Inversiones				
Formulación:	Euskal SA				
Programa:	Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos				
Proyecto:	PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA - CSR / Biomasa				
Localización:	La Pampa - Argentina				
Documento Tipo:	Informe de avance				
Título:	Tomo I - Ingeniería Conceptual				
Fecha:	Enero 2020				
Páginas:	2114				
Revisión:	Rev. A				
Archivo:	T_III-INGENIERÍA_PGE-rev_A.docx				
Observaciones:					

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	7
2	TECNOLOGÍA DE GASIFICACIÓN	8
2.1	TIPOLOGÍA.....	8
2.1.1	Gasificador de lecho fijo.....	9
2.1.2	Gasificador de lecho fluidizado	10
2.1.3	Gasificador de lecho arrastrado	11
2.1.4	Gasificador de horno rotativo	11
2.1.5	Gasificación por plasma	12
2.2	ETAPAS Y REACCIONES DE LA GASIFICACIÓN.....	12
2.3	ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA GASIFICACIÓN.....	13
2.3.1	Agentes gasificantes.....	13
2.3.2	Materia a gasificar	13
2.3.3	Efecto de la materia prima empleada	14
2.3.4	Efecto de la temperatura en las reacciones de gasificación	14
2.3.5	Efecto del tamaño de partícula	14
2.3.6	Efecto de la altura del lecho.....	14
2.3.7	Efecto del tiempo de residencia.....	15
2.3.8	Otras variables que influyen en las reacciones de gasificación	15
2.4	VENTAJAS FRENTE A LA TECNOLOGÍA DE INCINERACIÓN	15
2.5	TECNOLOGÍA ADOPTADA	17
3	DISPONIBILIDAD DE RECURSOS PARA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA	18
3.1	OFERTA DISPONIBLE DE COMBUSTIBLE SÓLIDO RECUPERADO.....	18
3.2	OFERTA DISPONIBLE DE BIOMASA.....	21
4	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN.....	30
1.1	METODOLOGÍA	38
1.1.1	Principios.....	38
1.1.2	Escala	39
1.1.3	Procedimiento.....	41
1.1.4	Justificación metodológica	42
1.1.5	Axiomas proceso analítico jerárquico	43
1.2	EVALUACIÓN	44
1.2.1	Objetivo	44
1.2.2	Definición de actores.....	44
1.2.3	Definición de criterios	44

1.2.4	Valoración de los criterios de evaluación.....	46
1.2.5	Matriz de ponderación de criterios	46
1.2.7	Comparación de alternativas.....	48
5	MEMORIA DESCRIPTIVA - SISTEMA Y EQUIPAMIENTO.....	58
5.1	PLANOS DE REFERENCIA	58
5.2	PRETRATAMIENTO	63
5.3	DOSIFICACIÓN DE CARGA DE LOS GASIFICADORES	63
5.4	PROCESO DE GASIFICACIÓN	64
5.5	TRATAMIENTO DEL GAS DE SÍNTESIS.....	64
5.6	GENERACIÓN Y TRANSFORMACIÓN.....	65
5.7	SISTEMA DE CONTROL.....	65
5.8	SISTEMAS AUXILIARES.....	65
6	MEMORIA DE CÁLCULO – SISTEMA Y EQUIPAMIENTO.....	67
6.1	ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL AL INGRESO DE LA PLANTA	67
6.2	ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL AL INGRESO DE LOS GASIFICADORES	67
6.3	ESPECIFICACIONES DEL GAS PRODUCIDO	68
6.4	GENERACIÓN DE ENERGÍA	68
6.5	CONSUMOS.....	69
6.5.1	Consumo de energía	69
6.5.2	Consumo de agua.....	69
6.6	GENERACIÓN DE CENIZAS	69
6.7	BALANCE DE MASA Y ENERGÍA	71
6.8	EMISIONES.....	72
6.9	MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	73
6.9.1	Normativa de referencia	73
6.9.2	Marco teórico.....	73
6.9.3	Software de modelización: SCREEN3	83
6.9.4	Modelización	93
6.9.5	Resultados de la modelización.....	94
7	INVERSIÓN.....	104
8	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	109

Índice de tablas

Tabla 1: Parámetros de cálculo	18
--------------------------------------	----

Tabla 2: Población en el área de estudio - proyecciones.....	19
Tabla 3: Oferta directa de biomasa en tn/año.....	29
Tabla 4: Escala de Valoraciones.....	40
Tabla 5: Criterios de Sustentabilidad.....	45
Tabla 6: Matriz de ponderación de criterios.....	46
Tabla 7: Matriz normalizada de ponderación de criterios.....	47
Tabla 8: Análisis de consistencia de las ponderaciones.....	47
Tabla 9: Matriz de ponderación de alternativas.....	48
Tabla 10: Matriz normalizada de ponderación de alternativas.....	48
Tabla 11: Resultado de la evaluación MC – alternativas priorizadas.....	48
Tabla 12: Resultado de la evaluación MC – alternativas priorizadas.....	49
Tabla 13: Especificaciones del material al ingreso de la Planta.....	67
Tabla 14: Especificaciones del gas de síntesis.....	68
Tabla 15: Características físico química de las cenizas.....	69
Tabla 16: vista de muestra de ceniza secada al sol.....	70
Tabla 17: Parámetros básicos del motogenerador.....	72
Tabla 18: Composición de los gases de escape.....	72
Tabla 19: Caudal de emisiones por motogenerador.....	72
Tabla 20: Coeficientes del método de Paquill respecto a la clase de estabilidad atmosférica.....	84
Tabla 21: Combinaciones de velocidad del viento y clase de estabilidad usadas en el modelo SCREEN3.....	88
Tabla 22: Factores de conversión recomendados para periodos de largo plazo.....	91
Tabla 23: Parámetros de modelización.....	93
Tabla 24: Parámetros de modelización del software SCREEN3.....	94
Tabla 25: Modelización de los niveles de inmisión de NOX en función de la distancia a la fuente.....	95
Tabla 26: Niveles de inmisión de NOX a 8 y 15 km de distancia de la fuente.....	96
Tabla 27: Contraste de la inmisión modelada versus niveles guía. NOx.....	96
Tabla 28: Parámetros de modelización del software SCREEN3.....	100
Tabla 29: Modelización de los niveles de inmisión de CO en función de la distancia a la fuente.....	101
Tabla 30: Niveles de inmisión de CO a 8 y 15 km de distancia de la fuente.....	102
Tabla 31: Contraste de la inmisión modelada versus niveles guía. CO.....	102

Índice de figuras

Figura 1: Gasificadores de lecho fijo.....	10
Figura 2: Gasificadores de lecho fluidizado.....	11
Figura 3: Distribución geoespacial de insumos potenciales de CSR.....	20
Figura 4: Modelo Conceptual WISDOM La Pampa.....	23
Figura 5: Oferta directa total de biomasa.....	24
Figura 6: Accesibilidad física a las fuentes de biomasa.....	25
Figura 7: Accesibilidad legal.....	26
Figura 8: Oferta legal con accesibilidad física.....	27
Figura 9: Oferta directa accesible.....	28
Figura 10: Corredores viales de interconexión Santa Rosa – Gral. Pico.....	31
Figura 11: Principales localidades, corredores viales y red de transporte de energía en 33Kv.....	32
Figura 12: Áreas de interés.....	33
Figura 13: Sitios identificados para el análisis de alternativas.....	34

<i>Figura 14: Sitio Alternativa 1</i>	35
<i>Figura 15: Sitio alternativa 2</i>	36
• <i>Figura 16: Sitio Alternativa 3</i>	37
<i>Figura 17: Modelo Jerárquico</i>	38
Figura 18: Balance de masa y energía	71
Figura 19: Variabilidad espacial y temporal de los constituyentes atmosféricos	76
Figura 20: Progresión de la pluma en base a las turbulencias y parámetros de dispersión	78
Figura 21: Curva de Distribución Gaussiana.....	79
Figura 22: Variación de V	79
Figura 23: Cambios en la pluma respecto al tiempo transcurrido	80
Figura 24: Perfiles instantáneos, horizontales y promedios horarios de la concentración de la pluma	82
Figura 25: Representación física de las variables usadas en la ecuación principal de SCREEN3	84
Figura 26: Niveles de inmisión de NOX en función de la distancia a la fuente	94
Figura 27: Contraste de la inmisión modelada versus niveles guía. NOx.....	97
Figura 28: Niveles de inmisión de CO en función de la distancia a la fuente	100
Figura 29: Contraste de la inmisión modelada versus niveles guía. CO.....	102

1 INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto GIRSU de la Provincia de La Pampa se hace necesario evaluar alternativas a la disposición final en celdas de enterramiento de los residuos de rechazo de las plantas de clasificación de RSU.

Estos residuos constituyen la fracción no reciclable ni compostable del conjunto de los RSU, los cuales en la práctica habitual son derivados a disposición final en celdas. En el caso de la provincia de la pampa esta metodología de gestión encuentra fuertes restricciones debido a la situación de anegamientos generalizados durante los años ricos del ciclo hidrológico fundamentalmente en el noreste de la provincia.

El incremento de las precipitaciones registradas en las últimas décadas en la región pampeana subhúmeda, agravado por la escasa pendiente del terreno, ha provocado la inundación de vastas extensiones. Esta situación ha afectado, esencialmente, tanto a los productores de áreas rurales como a los habitantes de centros urbanos de la región. El área comprometida por las inundaciones durante los años ricos del ciclo hidrológico asciende a alrededor de 200.000 hectáreas en la región noreste de La Pampa (Informe INTA Anguil, 2000), de las cuales aproximadamente unas 130.000 hectáreas se encuentran bajo agua, mientras que, las 68.000 hectáreas restantes tienen el nivel de agua cerca de la superficie. Como consecuencia de ello, se han originado cuantiosas pérdidas en la producción, en infraestructura, con repercusiones inmediatas en la situación socioeconómica del área.

Desde el punto de vista de la gestión de los RSU y la disposición final de la fracción de rechazo, en el contexto de la situación de anegamientos generalizados, implica dificultades excepcionales para establecer sitios aptos para la disposición final sin riesgo de contaminación de suelo y acuíferos.

Alternativamente, la fracción de rechazo de los RSU puede ser utilizada como Combustible Sólido Recuperado (CSR) para la generación de energía eléctrica y/o térmica.

Dicha estrategia de gestión en el caso de la provincia de La Pampa, implica la recuperación para fines productivos del conjunto de los residuos sólidos urbanos mediante la gestión específica de cada fracción de RSU: reciclado de las fracciones inorgánicas, compostaje de la fracción orgánica y valorización energética de la fracción de rechazo.

La tecnología propuesta involucra la gasificación del combustible sólido recuperado, produciendo gas de síntesis o "Syngas" el cual es utilizado como combustible de motogeneradores para la generación de energía eléctrica. Dicha tecnología asimismo posibilita la gasificación de biomasa como fuente de valorización energética.

En los siguientes apartados se analiza la disponibilidad de recursos para su valorización energética; la tecnología de gasificación; el análisis de las alternativas más eficientes de localización de la planta de generación y el desarrollo de la ingeniería conceptual de la misma, su evaluación económica y el estudio de impacto ambiental de la alternativa propuesta.

2 TECNOLOGÍA DE GASIFICACIÓN

Se denomina gasificación a un conjunto de reacciones termoquímicas, que se produce en un ambiente pobre en oxígeno, y que da como resultado la transformación de un sólido en una serie de gases susceptibles de ser utilizados en una caldera, en una turbina o en un motor, tras ser debidamente acondicionados.

En el proceso de gasificación, la biomasa (BM) y/o los residuos convertidos en Combustible Sólido Recuperado (CSR) se transforman en hidrocarburos más ligeros, incluso en monóxido de carbono e hidrógeno. Esta mezcla de gases llamada gas de síntesis o “syngas”, tiene un poder calorífico inferior (PCI) equivalente a la sexta parte del poder calorífico inferior del gas natural, cuando se emplea aire como agente gasificante. El agente gasificante es un gas, o mezcla de ellos, que aporta calor para iniciar las reacciones, y oxígeno.

La gasificación no es una tecnología desarrollada recientemente, sino que ha sido un recurso habitual en periodos de carencia o escasez de combustibles ligeros, ya que permite convertir sólidos en gases que pueden ser empleados en motores de combustión interna, calderas y turbinas. Por otro lado, la gasificación como concepto de proceso puede aplicarse para sintetizar combustibles líquidos de alta calidad (proceso Fischer-Tropsch).

La gasificación es uno de los procesos que aporta mayor valor añadido en el aprovechamiento energético de los RSU, al permitir la obtención de un gas que puede ser utilizado tanto para la generación de energía térmica como eléctrica, incluyendo la combinación de ambos procesos (mediante sistemas de cogeneración).

El rendimiento del proceso de gasificación varía dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante que se utilice, en el rango de 70-80%. El resto de la energía introducida en el combustible se invierte en las reacciones endotérmicas, en las pérdidas de calor de los reactores, en el enfriamiento del syngas, necesario para su secado (eliminación de vapor de agua) y filtración.

Además de sustituir a combustibles ligeros de origen fósil, la gasificación permite obtener altos rendimientos eléctricos a partir de BM/CSR, cuestión ésta muy difícil mediante combustión directa para generación de vapor y posterior expansión de éste en un turbo alternador. Mediante gasificación se pueden alcanzar rendimientos eléctricos de hasta un 30-32% mediante el uso de moto-generadores accionados por syngas, mientras que con un ciclo Rankine convencional simple las cifras rondan un 22% de rendimiento eléctrico.

2.1 TIPOLOGÍA

La gasificación de los materiales combustibles empleados se puede realizar en diferentes reactores. El tipo de gasificador condiciona la cinética de reacción, los rendimientos, la composición de los productos y la formación de especies contaminantes (Elías, 2005; Good y col., 2005; Knoef, 2005). Existen diversas posibilidades para clasificar los distintos tipos de gasificadores, en función de: tipo de agente gasificante, tipo de contacto gas-sólido, dirección y velocidad relativa gas-sólido, presión de trabajo y forma de aportar el calor al reactor. Según esta última, los gasificadores se pueden dividir en dos grupos:

- Directos: Son aquellos en los que el calor necesario se consigue mediante combustión parcial de parte del combustible.
- Indirectos: Aquellos en los que el calor suministrado al reactor se aporta desde el exterior.

En cuanto al tipo de contacto existen tres categorías:

2.1.1 Gasificador de lecho fijo

Este gasificador se caracteriza por un lecho de combustible que se mueve lentamente hacia abajo por acción de la gravedad mientras se gasifica, alimentándose el gas en sentido descendente (isocorriente o Downdraft) o ascendente (contracorriente o Updraft). Ambos tipos presentan exigencias particulares para el combustible (distribución de tamaño de partículas, humedad, etc.) (Kurkela, 2004). Además, existe otro tipo de gasificador de lecho fijo llamado Crossdraft.

- **Los gasificadores en isocorriente (Downdraft)** se caracterizan por generar un gas relativamente limpio de alquitranes y con una conversión de carbono elevada. La temperatura de salida es alta, debido a que el gas atraviesa la zona de oxidación antes de salir del reactor. En estos gasificadores, sólido y gas se mueven en el mismo sentido, normalmente descendente.

Este gasificador es de fácil construcción y operación. La tendencia actual es a unir las zonas de pirólisis y oxidación en una sola, de forma que los productos de pirólisis se forman y se combustionan simultáneamente, por lo que en una zona inferior se produce la reducción de forma análoga al Downdraft tradicional.

La principal ventaja de este tipo de gasificador es la de producir un gas relativamente limpio de alquitranes, aunque a una temperatura más alta que mediante el Updraft. Es apto para instalaciones pequeñas y medianas, presentando dificultades para operar con sólidos de humedad elevada.

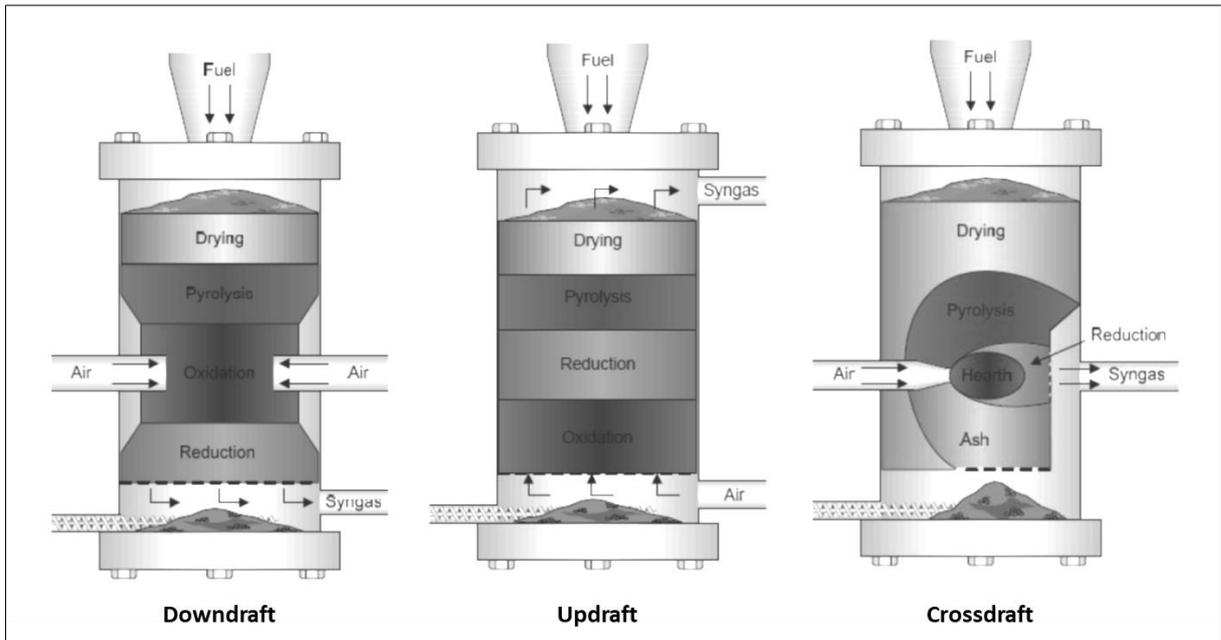
- **Los gasificadores en contracorriente (Updraft)** presentan una eficiencia térmica más elevada, al ser la temperatura de salida baja, pero con el inconveniente de la elevada carga de alquitranes en el gas producto, lo que obligaría a una exhaustiva limpieza del gas para su uso en determinadas aplicaciones. Aunque sustancialmente mayores que en el caso de los gasificadores en isocorriente, el potencial de escalado y la capacidad específica siguen siendo bajos. En el gasificador Updraft, sólido y gas se mueven en sentidos contrarios, donde el sólido normalmente va en sentido descendente y el gas ascendente.

Este gasificador es de fácil construcción y operación, y su eficacia térmica es alta. La baja temperatura de salida del gas, adecuada para combustión directa, es otra ventaja. El principal inconveniente es que el gas producido contiene los alquitranes y condensables producidos en el proceso de pirólisis inicial de las partículas, por lo que el proceso de limpieza del gas puede volverse tecnológicamente complejo y económicamente costoso. Esta clase de gasificador ha sido probado principalmente en plantas de poca potencia.

- **Los gasificadores de corriente lateral (Crossdraft)** se diferencian de los anteriores en que el agente oxidante se introduce por un lateral del reactor y el syngas sale por el lateral contrario. En este caso, las etapas de gasificación suceden de manera concéntrica a la zona de entrada del agente oxidante. Esto hace que se pueda funcionar con reactores a pequeña escala. En cuanto a la principal desventaja, es su alto contenido en alquitranes.

En la siguiente figura se indican diferentes diseños de gasificadores de lecho fijo, incluyendo las zonas de reacción características de cada configuración.

Figura 1: Gasificadores de lecho fijo



2.1.2 Gasificador de lecho fluidizado

Son aquellos en los que el agente gasificante circula por el interior de los mismos a una velocidad ascensional tal que un lecho de sólido inerte, que se añade a su interior, se encuentra en estado de fluidización, existiendo en el interior del gasificador una retromezcla que favorece la transferencia de materia y energía entre el combustible y el gas. Por tanto, el sólido pulverizado es mantenido en suspensión mediante el gas. En estas condiciones, el contacto sólido-gas, la uniformidad en temperatura y conversión son mayores que en los reactores de lecho fijo. Se reduce a sí mismo la tendencia de las partículas a aglomerarse pudiendo adicionarse agentes gasificantes a diferentes niveles.

Sin embargo, la complejidad de los equipos aumenta, produciéndose mayor desgaste debido a las mayores velocidades de los sólidos. En este tipo de gasificador, el carburante es fluidizado en una mezcla de vapor de agua y oxígeno o en el aire. Las partículas minerales se recuperan como cenizas.

Tiene una alta capacidad específica frente a otros tipos de reactores, aunque el material usado como materia prima debe tener un tamaño de partícula muy reducido.

Debido a la mejor transferencia de calor, los lechos fluidos permiten el procesamiento de una mayor cantidad de material combustible y una mayor producción de gases de reacción. Al ser la temperatura uniforme en todo el lecho, la reacción de gasificación tiene lugar, igualmente, de forma uniforme, lo que favorece la calidad de los gases generados (Warnecke, 2000).

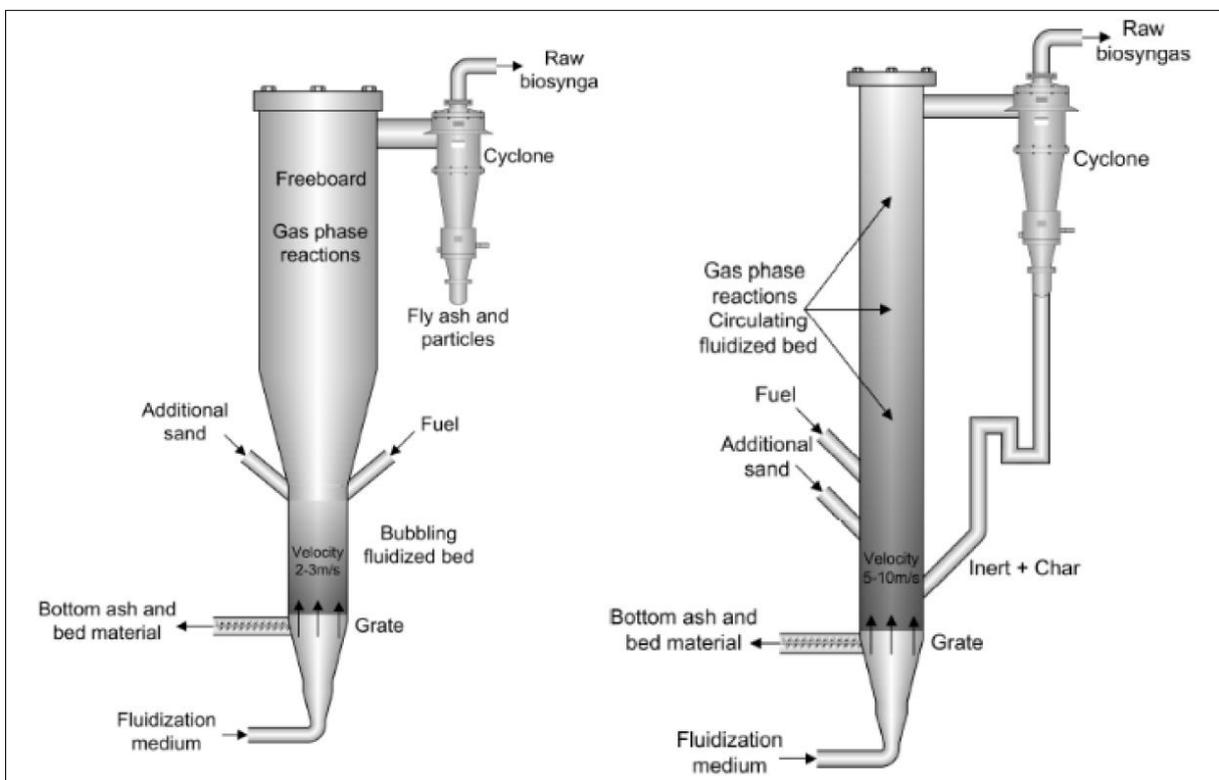
La mayoría de los gasificadores en desarrollo utilizan una de las dos configuraciones de lecho fluido existentes, el burbujeante y el circulante (van der Drift y col., 2001; Harris y col., 2003; Saiga y col., 2004; Gómez-Barea y col., 2006; Tatsumi y col., 2007; Gómez-Barea y col., 2008). Por lo tanto, existen dos categorías dentro de este tipo de gasificadores:

- **Lechos fluidizados burbujeantes:** la velocidad del agente fluidizante-gasificante es suficientemente baja para que no haya una circulación significativa de sólido.

- **Lechos fluidizados circulantes:** la velocidad del agente es mucho más elevada, dando como resultado una circulación de sólidos. Este sólido es separado de la corriente gaseosa y recirculado al reactor por medio del uso de un ciclón y un sistema de retorno al gasificador (Grace, 1997).

En cualquier caso, una característica común a los diversos tipos de lechos fluidos (junto con el buen contacto sólidos-gas, la alta capacidad específica, el excelente control de las condiciones como la temperatura y las velocidades de reacción, potencial de escalado a mayores tamaños y adaptación a cambios de combustible empleado como materia prima), es un contenido medio en alquitranes para el gas de salida, y como principal desventaja, un importante arrastre de sólidos y la conversión del combustible no es tan elevada como en los gasificadores de lecho fijo.

Figura 2: Gasificadores de lecho fluidizado



2.1.3 Gasificador de lecho arrastrado

Funcionan como calderas de carbón pulverizado. Operan en isocorriente con un tamaño de partícula muy fino, ya que los tiempos de residencia en el reactor son muy bajos. Las altas temperaturas de operación dan como resultado conversiones muy elevadas y concentraciones de alquitrán en el gas de salida prácticamente nulas. Sin embargo, es una tecnología sobre la que existe poca experiencia para la gasificación de biomasa.

2.1.4 Gasificador de horno rotativo

El funcionamiento de este tipo de reactor presenta similitudes con los gasificadores de lecho móvil pero tiene sus propias características. En lo que tiene que ver con la parte mecánica, facilita el desplazamiento de los sólidos, lo que hace más fácil el funcionamiento en continuo del sistema. Estos hornos están levemente inclinados y tienen una rotación lenta que permite el tránsito de la materia a gasificar. El gas puede circular en contracorriente o en corriente paralela con el sólido, teniendo en

cada caso sus ventajas e inconvenientes, pudiendo establecerse en algunos casos una analogía con el Updraft y el Downdraft.

La totalidad del oxígeno del aire que entra por el extremo caliente del horno es consumido en el proceso de combustión. Esto permite que el gas que sale por el otro extremo del horno tenga una composición carente de oxígeno, y rica en gases combustibles. Otra consecuencia es que el volumen de gas combustible producido es mínimo, lo que facilita su tratamiento de cara a realizar una combustión más limpia.

2.1.5 Gasificación por plasma

El plasma es la ionización de un flujo gaseoso, eléctricamente neutro, por medio de un campo electromagnético. Es un gas ionizado que contiene partículas eléctricamente cargadas (electrones e iones), neutras (átomos, moléculas y fotones), y átomos excitados. Conduce la electricidad y es sensible a los campos magnéticos. Las antorchas de plasma consiguen concentrar mucha energía (105 W/cm²) en una zona reducida por medio de la ionización con arco eléctrico de un gas (generalmente aire). La temperatura que se alcanza es de 2.000 a 4.000°C por lo que se consigue vitrificar las cenizas y eliminar completamente la fracción orgánica (Hera Holding, 2009).

Un reactor con antorcha de plasma consiste en un recipiente en ausencia de oxígeno donde la altísima temperatura producida permite romper los enlaces moleculares, formando un gas de síntesis y una lava fundida que al enfriar se transforma en un producto vítreo inerte. Por tanto, este tipo de reactor transforma los residuos en un material vitrificado más unos metales (corriente sólida), y un gas combustible más vapor de agua (corriente gaseosa), compuesto principalmente por H₂, CO y N, Cl, S. Siendo la reducción en peso y en volumen superior al 90%. El gas de síntesis generado contiene polvo (partículas) y otros elementos indeseables por lo que debe someterse a un proceso de limpieza para que pueda ser apto su aprovechamiento energético. Para el caso de los RSU, la limpieza del gas consiste en la eliminación de partículas, separación de azufre y mercurio y eliminación de metales pesados.

2.2 ETAPAS Y REACCIONES DE LA GASIFICACIÓN

Con independencia de que el lecho sea fluidizado o fijo, en sus variantes, la BM/CSR pasa por:

- Una primera etapa de calentamiento hasta 100 oC, que provoca el secado de la biomasa por evaporación del agua contenida en la misma, y que absorbe el calor sensible para elevar la temperatura, además del necesario para la evaporación del agua;
- La segunda etapa, que también absorbe calor, es la de pirólisis (ruptura por calor), en la que se rompen las moléculas grandes dando lugar a otras de cadena más corta que, a la temperatura del reactor, están en fase gaseosa;
- En los reactores "updraft" la tercera etapa es la reducción, por combinación del vapor de agua producido en la primera etapa, con el dióxido de carbono que viene arrastrado por la corriente del gasificante, desde la cuarta etapa (oxidación);
- La última etapa es la oxidación de la fracción más pesada (carbonosa) de la biomasa al entrar en contacto con el agente gasificante (aire, oxígeno, o vapor de agua).

Siguiendo la reacción en el sentido del agente gasificante, las etapas son:

- Oxidación parcial del residuo carbonoso y caliente de la biomasa, elevando mucho su temperatura, ya que las reacciones de oxidación son exotérmicas;
- En la zona de reducción, la falta de oxígeno unida a la disponibilidad de carbono, CO₂ y vapor de agua, hace que se produzca una recombinación hacia hidrógeno molecular y monóxido de carbono;

- La tercera etapa en el sentido del gas es la pirólisis en la que, por efecto del calor, los componentes más ligeros de la biomasa se rompen y convierten en gas, uniéndose a la corriente;
- Por último, los gases calientes evaporan el agua contenida en la biomasa entrante.

2.3 ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA GASIFICACIÓN

2.3.1 Agentes gasificantes

Según el agente gasificante que se emplee se producen efectos distintos en la gasificación, y el syngas varía en su composición y poder calorífico.

Si se gasifica con aire, parte de la biomasa procesada se combustiona con el oxígeno presente y el resto de la biomasa sufre la reducción. No obstante, el 50% del syngas es nitrógeno y, en términos de poder calorífico, el gas ronda los 5,5 MJ/Nm³. Este syngas es apropiado para motores de combustión interna convencionales.

La gasificación con vapor de agua u oxígeno, mejoran el rendimiento global y aumenta la proporción de hidrógeno en el syngas. Es el sistema más adecuado de producir syngas si se desea emplearlo como materia prima para producir metanol o gasolina sintética. Si bien el aire es gratuito y el vapor de agua se produce a partir del calor contenido en el gas de síntesis, el oxígeno tiene un coste energético y económico a tener en cuenta.

La utilización de hidrógeno como agente gasificante permite obtener un syngas que puede sustituir al gas natural, pues puede alcanzar un poder calorífico de 30 MJ/kg. No obstante, el hidrógeno es el mejor de los combustibles, susceptible de usarse en cualquier dispositivo termoquímico o electroquímico, por lo que no es muy recomendable como gasificante en el ámbito industrial.

2.3.2 Materia a gasificar

2.3.2.1 Propiedades físicas

Las tecnologías comerciales de gasificación permiten procesar prácticamente todo tipo de combustibles de origen biomásico, con una limitación de su densidad mínima de 200 a 250 kg/m³. Densidades menores crean problemas en el manejo de la biomasa en los conductos verticales. Asimismo, complican la gasificación en lecho fluidizado, pues la biomasa es arrastrada por el gas de síntesis, con la consecuente pérdida de eficiencia y disponibilidad.

Otra cuestión de importancia respecto a la biomasa es que su tamaño sea homogéneo (y estable en el tiempo) y lo suficientemente pequeño para que las reacciones se produzcan a una velocidad adecuada, y en un volumen razonablemente pequeño. Un tamaño de partícula pequeño permite aumentar la calidad del syngas, reducir el tamaño del reactor o bien aumentar el tiempo de permanencia para el craqueo de las fracciones más pesadas y condensables (alquitranes).

Un tamaño excesivamente pequeño puede hacer que la biomasa se atasque en los conductos o que sea arrastrada junto con las cenizas volantes al exterior del reactor antes de tiempo. En conclusión, se puede decir que cada gasificador precisa de un determinado tamaño de partícula, que en la mayoría de los casos no debe ser menor de 2-3 mm de diámetro.

2.3.2.2 Composición química

En cuanto a la humedad de la materia a gasificar, valores del 10 al 15% son los más adecuados. Secar más la biomasa presenta dos inconvenientes. El primero es que, a medida que se seca más, es más costoso en términos energéticos y económicos. En segundo lugar, una biomasa secada más allá de su punto de equilibrio recupera la humedad al entrar en contacto con el aire ambiente.

En general, la humedad facilita la formación de hidrógeno, pero reduce la eficiencia térmica. Un análisis elemental de la biomasa permite conocer la cantidad de aire u oxígeno que es necesario introducir como primera aproximación que se contrastará en la práctica.

Un análisis inmediato da información sobre carbono fijo, volátiles, humedad y cenizas. Estos datos son importantes a la hora de elegir la tecnología de gasificación y el tiempo de residencia en el reactor, para reducir al máximo los inquemados carbonosos, es decir, agotar al máximo el PCI de la biomasa.

Conociendo el poder calorífico del combustible se obtiene una idea aproximada del poder calorífico del syngas. El poder calorífico se calcula a partir del análisis elemental.

Por último, es importante que las cenizas entrantes (fracción mineral mezclada o adherida al combustible) sean lo más reducidas posible. Estas cenizas sólo absorben calor, ensucian los filtros y erosionan los conductos.

2.3.3 Efecto de la materia prima empleada

La materia prima en los procesos de gasificación es el carbonizado proveniente de los procesos de pirólisis. La porosidad y la distribución del tamaño de esos poros determinarán el área superficial que queda disponible para que tenga lugar la reacción y la facilidad con la cual los reactantes gaseosos y los productos pueden desplazarse por la superficie (Gómez, Ad., 2002). De este modo, una gran área superficial se obtiene cuando la pirólisis se lleva a cabo completamente y a altas temperaturas (Gómez, Ad., 2002).

Los compuestos inorgánicos que pueden estar presentes en el carbonizado pueden tener un efecto catalizador o inhibidor en las reacciones de pirólisis y gasificación (Bellais, M., 2007; Moilanen, A., 2006), lo que depende de la composición química y peso de las cenizas en el carbonizado. Las cuales a altas temperaturas y bajo ciertas condiciones, pueden sufrir aglomeraciones y quedar depositadas dentro del gasificador y bloquear el flujo de material combustible.

2.3.4 Efecto de la temperatura en las reacciones de gasificación

La temperatura afecta a la termodinámica y cinética de las reacciones en el gasificador y con ello a la formación de alquitranes, de tal forma que debería ser lo más alta posible (Corella y col., 2008). Para que la cinética del proceso sea adecuada, la mayoría de los procesos de gasificación tienen lugar a temperaturas entre 700-900°C (Dayton, 2002).

Desde el punto de vista cinético, un incremento en la temperatura supone una mayor concentración de H_2 , CO y C_2H_m y con ello, un aumento del poder calorífico del gas producido (Narváez y col., 1996).

2.3.5 Efecto del tamaño de partícula

Con tamaños de partícula pequeños se reduce la formación de carbonizado (Di Blasi, C., 1996). Esto es debido a que la muestra se calienta homogéneamente y la materia volátil tiene mayor facilidad para abandonar la partícula, ya que la distancia que debe recorrer ésta desde el interior de la partícula hasta su superficie es menor que el recorrido que debería hacer en materiales con partículas de mayor tamaño. Esto provoca la minimización de las reacciones secundarias, por lo que hay una disminución en la formación de carbonizado conforme más pequeñas sean las partículas. Por el contrario, los tamaños pequeños de partículas dan lugar a una bajada importante de la presión en el interior del gasificador.

2.3.6 Efecto de la altura del lecho

El efecto de esta variable es similar al que se produce al variar el tamaño de partícula. Si aumenta la altura del lecho, el material que se encuentra en su interior no deja que los gases que se

producen en las reacciones primarias abandonen fácilmente el lecho y sufren conversiones secundarias (reacciones secundarias). Esto provoca una mayor formación de carbonizado y una reducción en la formación de alquitranes. Al igual que ocurre con tamaños de partícula mayores, con alturas de lecho menores la formación de carbonizado y gas es más baja y la formación de alquitranes mayor.

2.3.7 Efecto del tiempo de residencia

El tiempo de residencia puede variar la composición química del gas de síntesis, ya que determina el tiempo de reacción entre el agente gasificante y el carbonizado producto de la pirólisis. En términos generales si aumenta el tiempo de residencia la cantidad de material sólido disminuye produciéndose una disminución a su vez, de los alquitranes al favorecerse las reacciones secundarias.

2.3.8 Otras variables que influyen en las reacciones de gasificación

- **El estado de fluidización del lecho del reactor:** se define como el cociente entre la velocidad superficial del gas y la velocidad mínima de fluidización. El estado de fluidización junto con el diámetro de la partícula define los distintos regímenes de fluidización. La influencia de una variación del estado de fluidización se traduce en la influencia que ejerce una variación de la velocidad superficial en el agente gasificante sobre el proceso. La influencia se puede relacionar con el contacto gas-sólido existente en las reacciones heterogéneas, la generación de las burbujas, la turbulencia generada y el tiempo de residencia del gas en el interior del reactor. Un aumento en el valor del estado de fluidización supone un incremento en el contenido de N_2 . Por otro lado, provoca una disminución en el tiempo de residencia de los distintos componentes en la zona de reacción y como consecuencia se espera una disminución en la conversión del residuo empleado (Moreno, F.J., 2010).
- **Ratio equivalente:** indica el estado del sistema en función a la concentración estequiométrica de oxígeno requerida para que tenga lugar una combustión completa. Si se da un aumento del ratio se favorece el rendimiento de las reacciones de oxidación, generando un mayor volumen de gases de reacción. Sin embargo, la proporción de gases combustibles es menor (H_2 , CO y CH_4) por lo que el poder calorífico del gas es reducido (Gil y col., 1999; Orío y col., 1997).
- **Ratio H/C y S/B:** El ratio H/C es el cociente entre los moles de hidrógeno y los de carbono que hay presentes en el interior del gasificador. El ratio S/B describe la relación entre la cantidad de agua y la cantidad de material a gasificar. Estos ratios pueden ser ajustados aumentando y disminuyendo la presencia de agua en el sistema. Un ratio H/C alto aumenta el contenido en H_2 y CO en los gases de reacción y reduce la cantidad de alquitranes generados (Narváez y col., 1996), mientras que aumentos del ratio S/B incrementan el contenido en H_2 y CO_2 , pero disminuyen el de CO, debido a la reacción de water gas shift (Gil y col., 1999). El aumento de estos ratios requiere un mayor consumo energético en el proceso.

2.4 VENTAJAS FRENTE A LA TECNOLOGÍA DE INCINERACIÓN

El proceso de gasificación representa avances significativos sobre la incineración. Para comprender las ventajas de la gasificación en comparación con incineración, es importante entender las diferencias entre estos dos procesos:

La diferencia entre la incineración y el proceso de gasificación, radica en la presencia de oxígeno. En la incineración, el proceso es de combustión completa en presencia de oxígeno, mientras que en la gasificación y pirólisis, la reducción se realiza en ausencia o en presencia de baja concentración de oxígeno.

La incineración literalmente significa hacer cenizas. La incineración utiliza RSU como un combustible, quemándolo con altos volúmenes de aire para formar dióxido de carbono y calor.

En una planta de conversión de residuos en energía que utiliza incineración, estos gases calientes se utilizan para hacer vapor, que luego se utiliza para generar electricidad.

La gasificación convierte los RSU en un gas de síntesis (syngas) utilizable. Es la producción de este producto intermedio, syngas, lo que hace la gasificación tan diferente de la incineración. En el proceso de gasificación, el RSU no es un combustible, sino una materia prima para un proceso de conversión química a alta temperatura.

En lugar de producir solo calor y electricidad, como se hace en planta de incineración, el gas de síntesis producido puede ser convertido en productos comerciales de mayor valor como los combustibles de transporte, productos químicos, fertilizantes e incluso sustitutos del gas natural.

Incineración	Gasificación
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$
	$C + CO_2 \rightarrow 2CO$
	$C + H_2O \rightarrow CO + H_2$
Presencia de fuego	Producción de Syngas

Una de las preocupaciones con la incineración de RSU es la formación y reforma de dioxinas y furanos tóxicos, especialmente a partir de plásticos que contienen PVC.

Estos contaminantes terminan en las corrientes de escape del incinerador por tres vías:

- Por descomposición, como partes más pequeñas de moléculas más grandes;
- “Reformulando” cuando las moléculas más pequeñas se combinan juntas; y / o
- Simplemente pasando por el incinerador sin cambios.

La incineración no permite el control de estos procesos y se realiza toda la limpieza después de la combustión.

Una de las ventajas importantes de la gasificación es que el gas de síntesis puede limpiarse de contaminantes antes de su uso, eliminando los sistemas de control de emisiones postcombustión requeridos en plantas de incineración. El syngas limpio se puede usar en motores alternativos o turbinas para generar electricidad o procesadas para producir hidrógeno, sustituto de gas natural, productos químicos, fertilizantes o combustibles para el transporte.

La gasificación es significativamente diferente y más limpia que la incineración:

- En el ambiente de alta temperatura de la gasificación, moléculas más grandes como los plásticos, se descomponen en los componentes del syngas, que puede limpiarse y procesarse antes de cualquier uso posterior;
- Las dioxinas y los furanos necesitan suficiente oxígeno para formarse o reformarse, y la atmósfera deficiente en oxígeno en un gasificador no proporciona entorno necesario para que las dioxinas y los furanos se formen o reformen.
- Las dioxinas necesitan partículas metálicas finas en los gases de escape para reformarse; el syngas de la gasificación se limpia de partículas antes de ser utilizado;

- En las instalaciones de gasificación que usan gas de síntesis para producir productos como combustibles, productos químicos y fertilizantes, el gas de síntesis es rápidamente enfriado, por lo que no hay suficiente tiempo de residencia en el rango de temperatura donde podrían formarse dioxinas o furanos;
- Cuando el gas de síntesis se utiliza principalmente como combustible para generar calor o ser consumido como combustible en un motor se puede limpiar según sea necesario antes de la combustión; esto no puede ocurrir con incineración

2.5 TECNOLOGÍA ADOPTADA

Del conjunto de tecnologías de gasificación disponibles se optó por un gasificador tipo “downdraft” de flujo descendente, priorizando las siguientes características:

- Este gasificador es de fácil construcción y operación.
- Es caracterizado por generar un gas relativamente limpio de alquitranes.
- El gas abandona el gasificador a una temperatura relativamente baja, lo que hace que el gasificador tenga una alta eficiencia.
- Puede ser utilizado en una amplia gama de residuos y biomasa.
- Puede operar dentro de ciertos límites con diferentes tamaños de partículas y contenido de humedad.
- El agente gasificador es aire, por lo que parte de la biomasa procesada se combustiona con el oxígeno presente y el resto de la biomasa sufre la reducción.
- El syngas producido es apropiado para motores de combustión interna convencionales.
- La tecnología es conocida y se encuentra operativa en la República Argentina para el procesamiento de biomasa.

3 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS PARA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

La disponibilidad de recursos para ser aplicados a un proceso de valorización energética en la Provincia de La Pampa está determinado por la necesidad de gestionar los residuos de rechazo de las plantas de clasificación de RSU como así también la disponibilidad de biomasa.

A continuación se indican los valores estimados disponibles de recursos potencialmente valorizables.

3.1 OFERTA DISPONIBLE DE COMBUSTIBLE SÓLIDO RECUPERADO

La oferta disponible de materiales con aptitud para ser procesados como combustible sólido recuperado CSR está determinada por los residuos de rechazo de las plantas proyectadas en el marco del Programa GIRSU de la Provincia de la Pampa.

De acuerdo a lo indicado en la introducción del presente trabajo, desde el punto de vista de la gestión de los RSU y la disposición final de la fracción de rechazo, en el contexto de la situación de anegamientos generalizados, implica dificultades excepcionales para establecer sitios aptos para la disposición final sin riesgo de contaminación de suelo y acuíferos.

Alternativamente, la fracción de rechazo de los RSU puede ser utilizada como Combustible Sólido Recuperado (CSR) para la generación de energía eléctrica y/o térmica.

Dicha estrategia de gestión en el caso de la provincia de La Pampa, implica la recuperación para fines productivos del conjunto de los residuos sólidos urbanos mediante la gestión específica de cada fracción de RSU: reciclado de las fracciones inorgánicas, compostaje de la fracción orgánica y valorización energética de la fracción de rechazo.

En una primera etapa de evaluación se incluyen en los cálculos los residuos de rechazo correspondientes a los proyectos de las microrregiones MR1; MR2; MR6 y Mr7 de la provincia de La Pampa.

De acuerdo a los estudios realizados en el marco del Programa GIRSU fueron estimados los coeficientes representativos de las distintas fracciones que componen los RSU en términos promedio en la Provincia. Se adopta como tasa de generación de RSU 0.9 kg por habitante, siendo la fracción reciclable del 35%, la fracción de residuos orgánicos compostables del 35% y la fracción de rechazo con capacidad para ser procesada como combustible sólido recuperado del 30%.

A partir de estos parámetros representativos en términos de composición se estima la tasa de CSR per cápita.

Tabla 1: Parámetros de cálculo

Parámetro	Valor	Unidad
Generación de RSU per capita	0.9	kg/hab
% de rechazo de RSU	30%	%
% de pérdidas (humedad-aptitud)	20%	%
Combustible Sólido Recuperado CSR per cápita	0.22	kg/hab

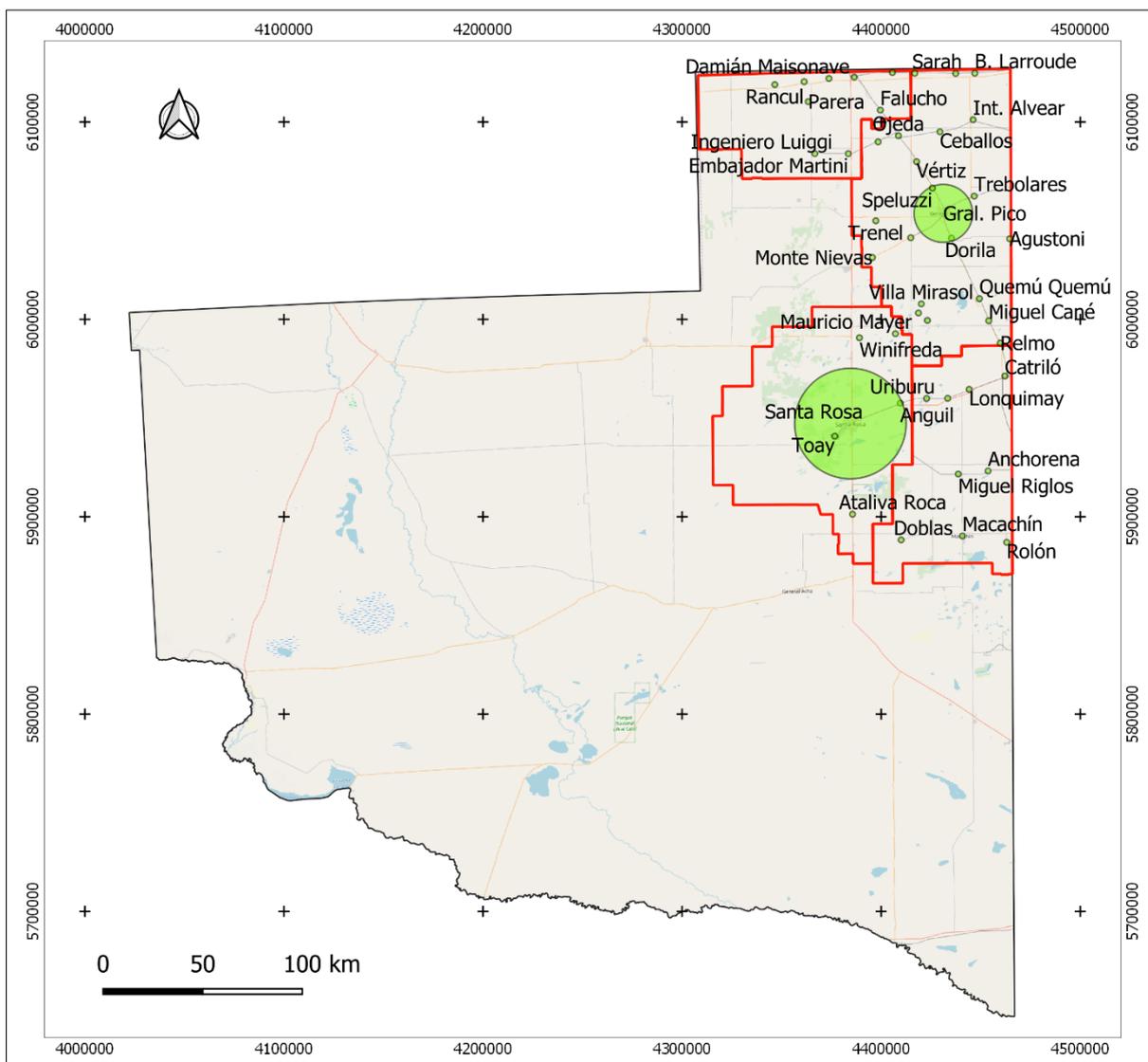
En la siguiente tabla se indican las proyecciones de población para las localidades del área de estudio, las mismas han sido proyectadas mediante la metodología de Tasa Geométrica Decreciente.

Tabla 2: Población en el área de estudio - proyecciones

Localidad	Microrregión	Población		
		Año 2020	Año 2030	Año 2040
Población total de proyecto		260 047	283 541	309 411
Total MR1		21 202	22 427	23 740
Realicó	MR1	7 987	8 673	9 418
Ingeniero Luiggi		4 832	5 008	5 191
Rancul		3 572	3 710	3 855
Parera		2 171	2 233	2 296
Embajador Martini		1 387	1 440	1 494
Quetrequén		426	462	501
Adolfo Van Praet		295	308	320
Damián Maisonave		350	407	473
Falucho		182	187	192
Total MR6		132 387	146 418	162 004
Santa Rosa	MR6	113 750	125 460	138 376
Toay		13 506	15 645	18 122
Winifreda		2 235	2 247	2 259
Anguil		1 870	2 011	2 163
Ataliva Roca		733	759	786
Mauricio Mayer		293	296	298
Total MR2		89 312	96 580	104 505
General Pico	MR2	62 347	68 293	74 806
Intendente Alvear		8 136	8 814	9 549
Quemu Quemu		3 945	4 157	4 380
Trenel		3 501	3 619	3 741
Colonia Baron		2 812	2 820	2 827
Bernardo Larroude		1 565	1 619	1 675
Alta Italia		1 391	1 433	1 476
Miguel Cane		818	832	847
Vertiz		715	742	771
Coronel Hilario Lagos		695	703	711
Villa Mirasol		541	541	541
Metileo		516	536	556
Monte Nievas		480	491	502
Speluzzi		417	474	539
Dorila		414	432	451
Ceballos		330	330	331
Agustoni		309	333	360
Sarah		224	247	272
Ojeda		72	74	77
Trebolares		51	55	61
Colonia San José	32	32	32	
Total MR7		17 146	18 116	19 162
Macachín	MR7	5 100	5 397	5 712
Catrilo		4 366	4 810	5 299
Miguel Riglos		2 098	2 118	2 139
Lonquimay		1 784	1 892	2 007
Doblas		1 588	1 590	1 592
Uriburu La Gloria		1 077	1 147	1 221
Rolón		682	686	690
T. Anchorena		324	342	361
Relmo		126	133	140

En el siguiente mapa se indica el área de estudio correspondiente a las microrregiones 1,2,6,7 de la provincia de la pampa y las densidades poblacionales relativas de las localidades, variable determinante de la generación estimada de residuos de rechazo potencialmente recuperable como combustible.

Figura 3: Distribución geoespacial de insumos potenciales de CSR



La oferta potencial actual estimada de materiales tipo CSR asciende a 56 Tn diarias con una proyección estimada para los años 2030 y 2040 de 61 Tn/día y 66 Tn/día respectivamente.

En la siguiente tabla se indica la oferta potencial de materiales tipo CSR y su distribución por microrregiones y localidades dentro del área de estudio.

Localidad	Microrregión	Oferta potencial de materiales tipo CSR (kg//día)		
		Año 2020	Año 2030	Año 2040
Total de CSR		56 170	61 245	66 833
Total MR1		4 580	4 844	5 128
Realicó	MR1	1 725	1 873	2 034
Ingeniero Luiggi		1 044	1 082	1 121
Rancul		771	801	833
Parera		469	482	496
Embajador Martini		300	311	323
Quetrequén		92	100	108
Adolfo Van Praet		64	66	69
Damián Maisonave		76	88	102
Falucho		39	40	41
Total MR6		28 596	31 626	34 993
Santa Rosa	MR6	24 570	27 099	29 889
Toay		2 917	3 379	3 914
Winifreda		483	485	488
Anguil		404	434	467
Ataliva Roca		158	164	170
Mauricio Mayer		63	64	64
Total MR2		19 291	20 861	22 573
General Pico	MR2	13 467	14 751	16 158
Intendente Alvear		1 757	1 904	2 063
Quemu Quemu		852	898	946
Trenel		756	782	808
Colonia Baron		607	609	611
Bernardo Larroude		338	350	362
Alta Italia		300	310	319
Miguel Cane		177	180	183
Vertiz		154	160	167
Coronel Hilario Lagos		150	152	154
Villa Mirasol		117	117	117
Metileo		112	116	120
Monte Nieves		104	106	108
Speluzzi		90	102	116
Dorila		90	93	97
Ceballos		71	71	71
Agustoni		67	72	78
Sarah		48	53	59
Ojeda		16	16	17
Trebolares		11	12	13
Colonia San José	7	7	7	
Total MR7		3 704	3 913	4 139
Macachín	MR7	1 102	1 166	1 234
Catriló		943	1 039	1 145
Miguel Riglos		453	458	462
Lonquimay		385	409	434
Doblas		343	344	344
Uriburu La Gloria		233	248	264
Rolón		147	148	149
T. Anchorena		70	74	78
Relmo		27	29	30

3.2 OFERTA DISPONIBLE DE BIOMASA

En el marco del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa - PROBIOMASA UTF/ARG/020/ARG, desarrollado a partir de la colaboración entre la Organización de las Naciones

Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, la Secretaría de Energía de la Nación y el Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca, se formuló el análisis espacial del balance energético derivado de biomasa, Metodología WISDOM para la Provincia de La Pampa.

Este estudio tuvo como eje de trabajo identificar, localizar y cuantificar la disponibilidad y el consumo de los recursos biomásicos en la Provincia de La Pampa, con el fin de promover el desarrollo de la energía renovable.

En este sentido, se realizó un diagnóstico provincial, siguiendo criterios de sustentabilidad, sobre la oferta y la demanda de combustibles derivados de la biomasa. De esta manera, se obtuvo un balance bioenergético a nivel provincial. Este balance fue desagregado a nivel departamental y de radio censal.

En virtud de ello, se construyó una base de datos geo-espacial con información brindada por diferentes organismos nacionales y provinciales, de carácter público y privado. En la Provincia de La Pampa, a fin de ejecutar las acciones del Proyecto, se constituyó la Unidad Provincial Ejecutora (UPE), con el objetivo de gestionar la información obrante en las diversas instituciones para la implementación de la metodología WISDOM (Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles – Woodfuels Integrated Supply/Demand Overview Mapping) y de institucionalizar el procedimiento de análisis espacial de los recursos biomásicos a través de la capacitación y transferencia metodológica a los expertos locales.

Las fuentes de oferta identificadas, localizadas y cuantificadas, en función de su origen, fueron las siguientes:

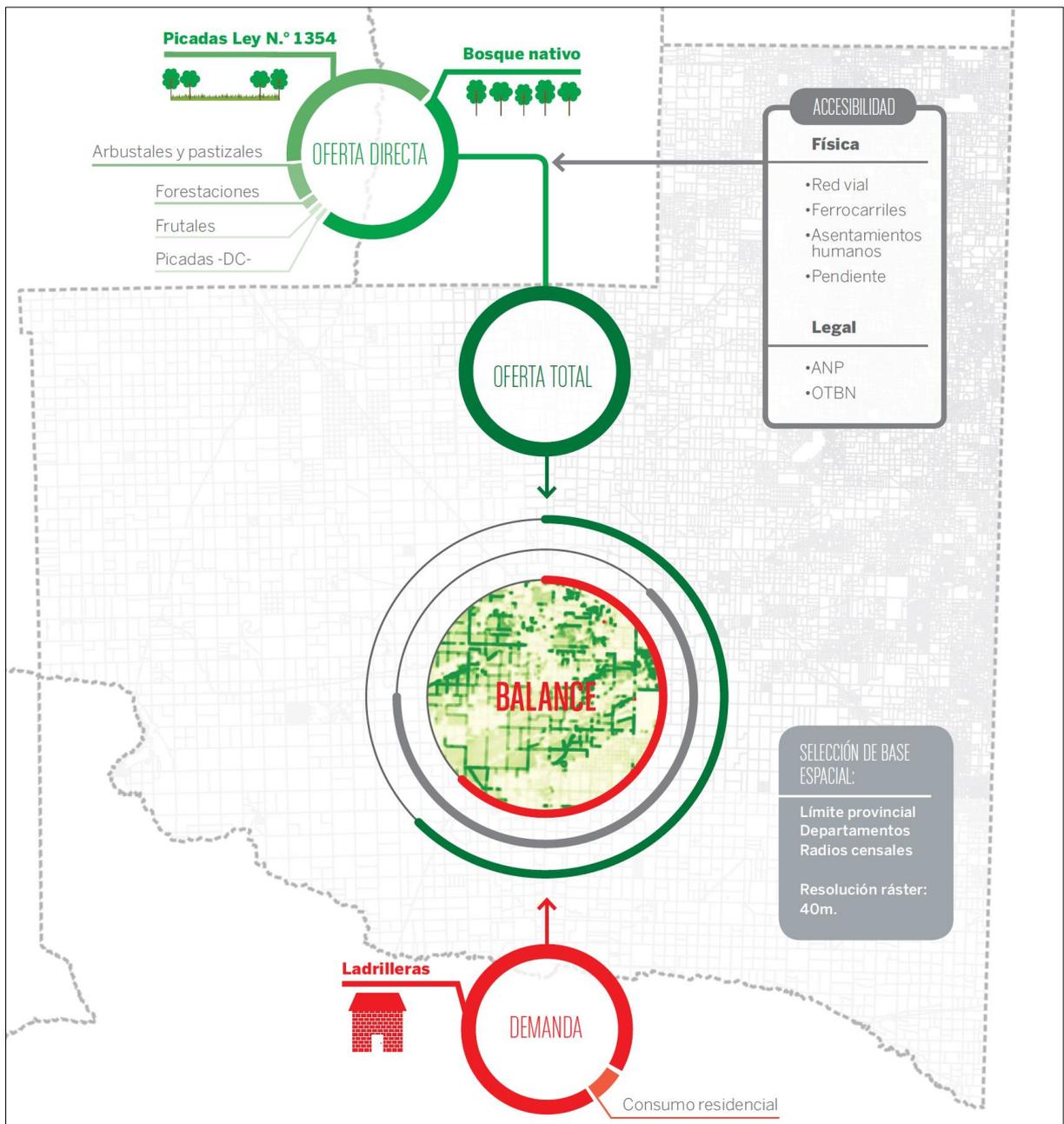
- Picadas perimetrales Ley N.º 1 354 (43,60 %)
- Bosque nativo y otras formaciones leñosas (36,73 %)
- Arbustales (16,88 %)
- Forestaciones (1,50 %)
- Frutales (0,52 %)
- Picadas cortafuegos Defensa Civil (0,39 %)

Con respecto al consumo de biomasa con fines energéticos, los sectores demandantes considerados fueron: la industria ladrillera (92 %) y el sector residencial (8 %).

En resumen, y teniendo en cuenta todos estos componentes, se estimó que la oferta directa provincial accesible física y legalmente, es de 1 150 742 tn/año. Por su parte, la demanda actual estimada es de 5 113 tn/ año. En consecuencia, el balance resultante entre la oferta potencial y el consumo actual estimado da un superávit de 1 145 629 tn/año de recursos biomásicos con fines energéticos.

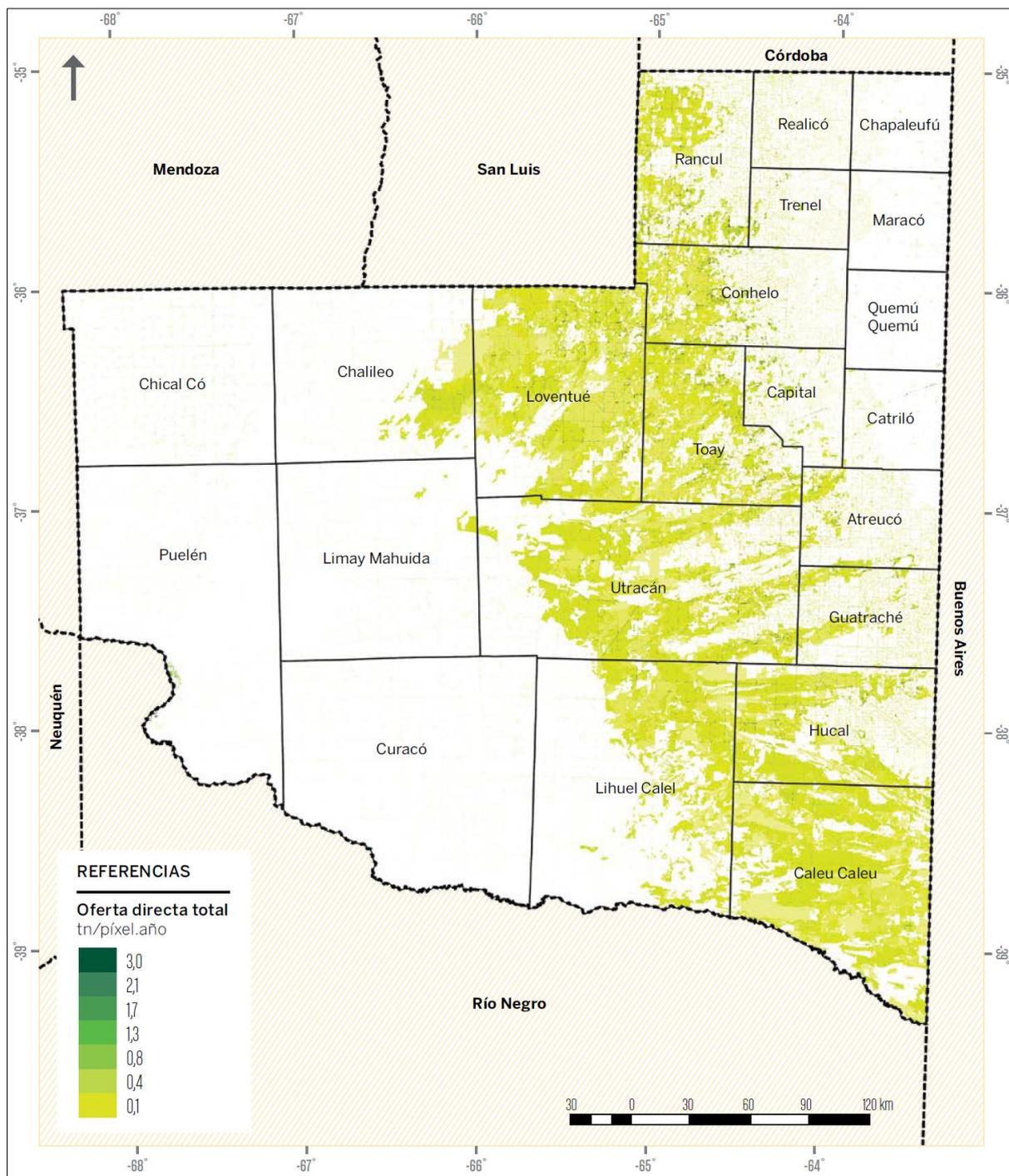
En el siguiente modelo conceptual se indican los diferentes insumos que se tuvieron en cuenta para el análisis:

Figura 4: Modelo Conceptual WISDOM La Pampa



A continuación se presentan los mapas más representativos del análisis espacial:

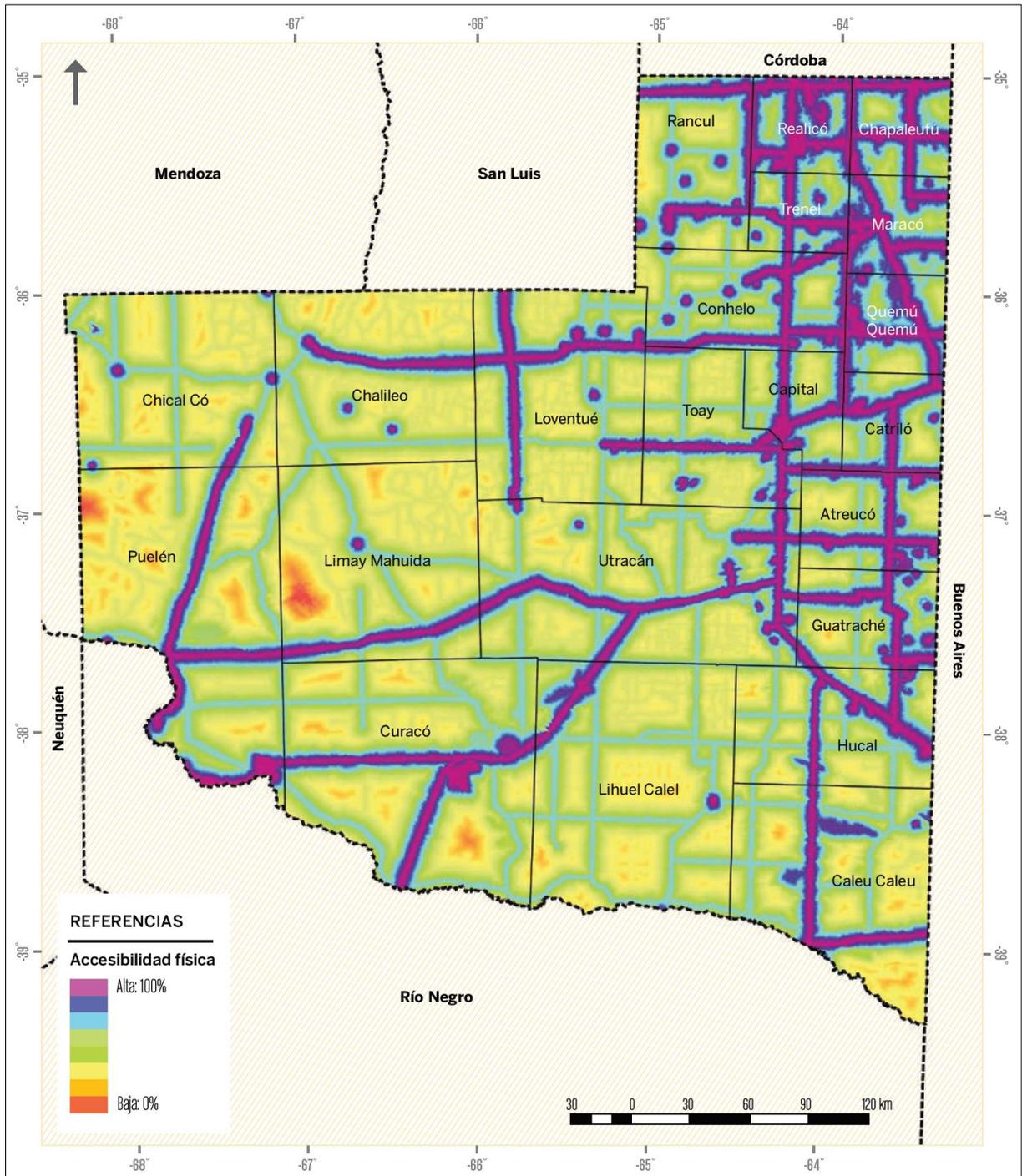
Figura 5: Oferta directa total de biomasa



El mapa precedente presenta la distribución de la oferta de biomasa accesible que coincide con las formaciones vegetales nativas, en su gran mayoría, y con las plantaciones forestales y de frutales, en el límite con el Río Colorado (al SO). Se puede observar que la disponibilidad de biomasa a partir del bosque nativo se redujo a la mitad por la influencia del OTBN (Categoría Amarillo). Los mayores valores representan la oferta de recursos biomásicos a partir de la apertura, limpieza y mantenimiento de las picadas cortafuegos que no fueron restringidos por la Categoría II del OTBN ya que éstas se encuentran reguladas por la Ley N° 1 354.

La metodología WISDOM contempla la accesibilidad física como una variable limitante, en referencia a la topografía y la distancia existente entre un lugar poblado o vías de comunicación y la localización del recurso biomásico. Asimismo, se incorporaron restricciones legales a las que está sujeto el aprovechamiento de los recursos biomásicos.

Figura 6: Accesibilidad física a las fuentes de biomasa



La accesibilidad Total se observa cómo el área que comprende la Categoría Amarillo del OTBN reduce fuertemente la accesibilidad en la diagonal boscosa del territorio provincial. Asimismo, la

Categoría Rojo del OTBN (Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo) y las áreas naturales protegidas anulan la disponibilidad de recursos biomásicos. Los mayores valores de accesibilidad se concentran en el NE provincial, determinados por el entramado de redes viales y centros poblados.

Figura 7: Accesibilidad legal

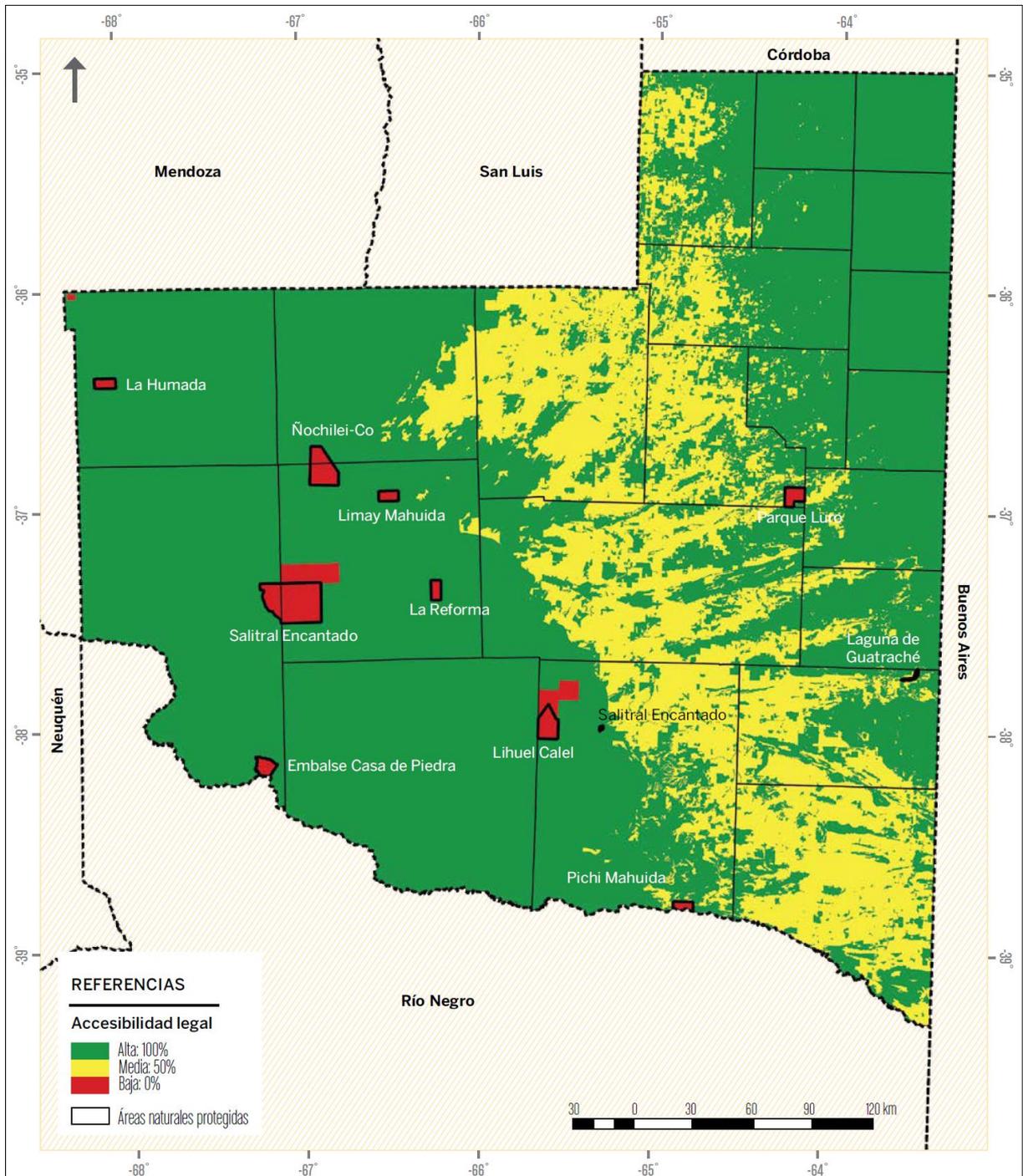


Figura 8: Oferta legal con accesibilidad física

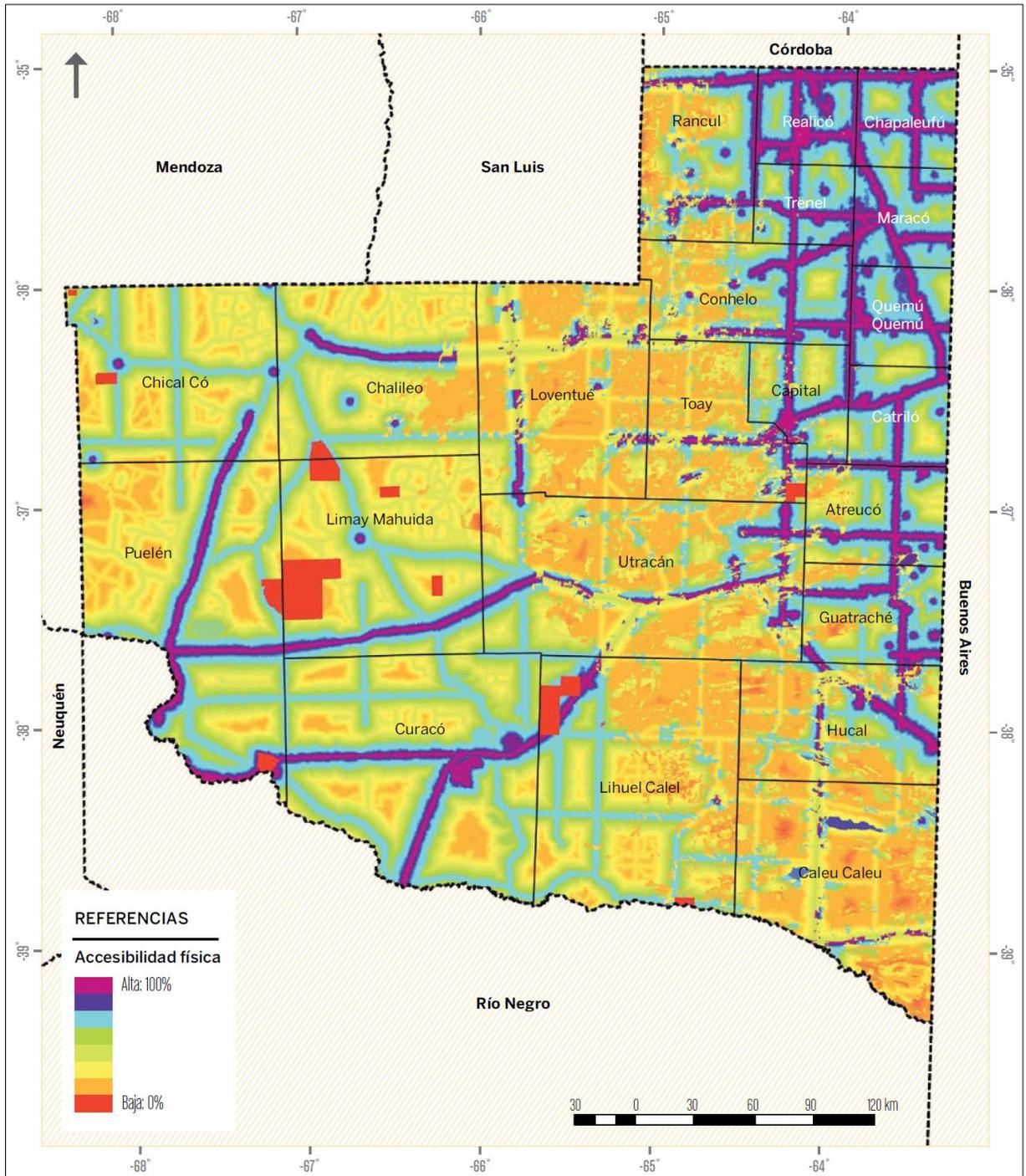


Figura 9: Oferta directa accesible

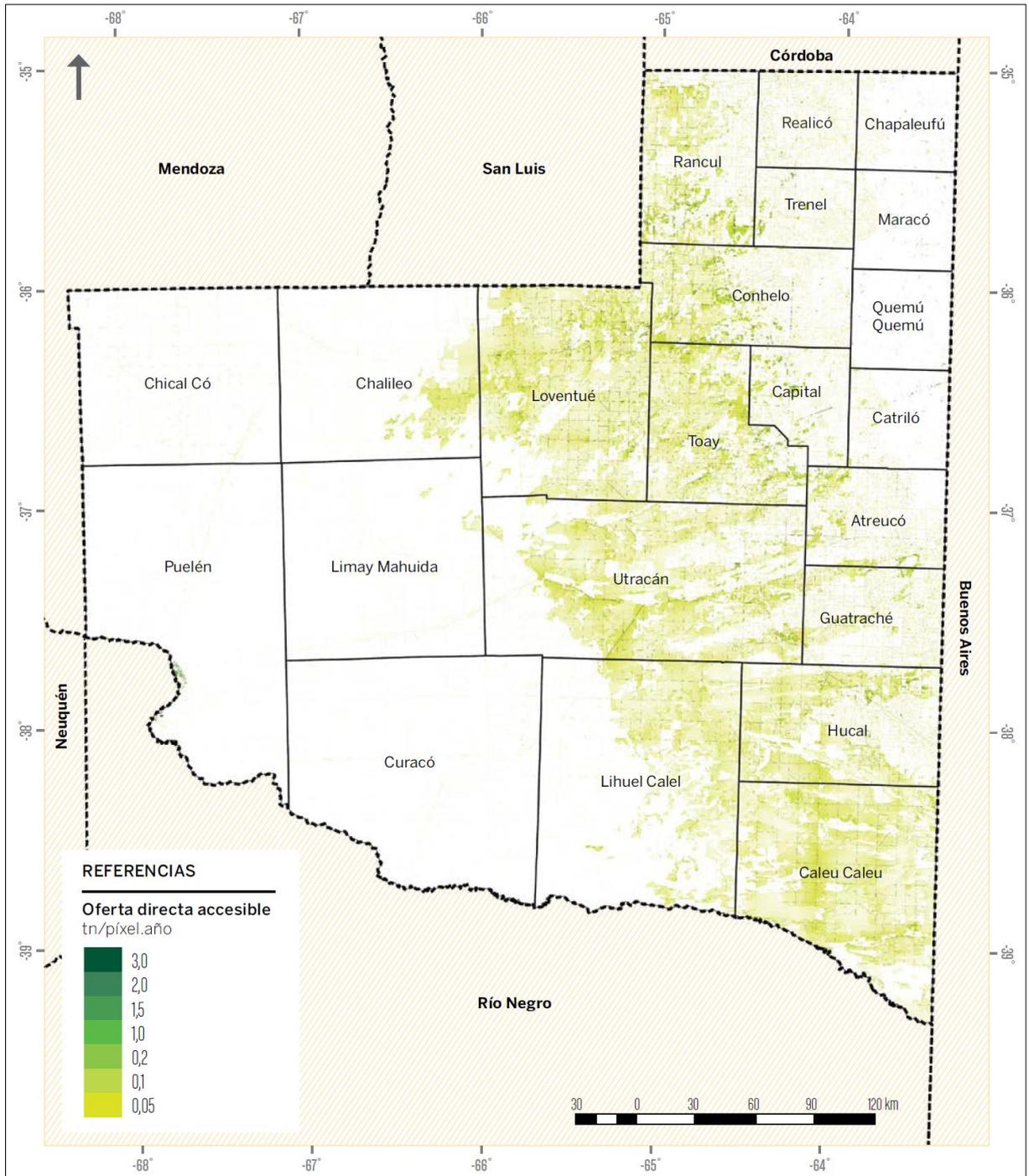


Tabla 3: Oferta directa de biomasa en tn/año

Departamento	Oferta directa tn/año					
	Bosque nativo	Arbustal	Picadas DC	Picadas Ley N°: 1354	Forestaciones	Frutales
Atreucó	12,9	63	0,0	17,6	3,6	0,0
Caleu Caleu	53,4	49,5	567	36,8	0,0	0,0
Capital	6,6	4	0,0	11,3	2,0	0,0
Catriló	1,3	75	0,0	2,31	1,5	0,0
Conhelo	38,3	904	13	48,2	1,3	0,0
Curacó	0,0	0,0	82	1,9	0,0	0,0
Chalileo	11,5	5,1	304	6,0	0,0	0,0
Chapaleufú	1,2	0,0	0,0	882	0,0	0,0
Chical Co	22	0,0	106	1,8	0,0	0,0
Guatraché	8,5	1,1	0,0	20,4	3	0,0
Hucal	28,0	21,0	203	45,9	635	0,0
Lihuel Calel	24,2	31,2	554	19,2	0,0	0,0
Limay Mahuida	6	982	194	1,6	0,0	0,0
Loventué	91,1	14,8	959	81,9	0,0	0,0
Maracó	1,21	0,0	0,0	967	0,0	0,0
Puelén	224	0,0	86	2,1	4,7	5,9
Quemú Quemú	906	0,0	0,0	107	194	0,0
Rancul	33,5	6,7	0,0	49,0	0,0	0,0
Realicó	1,0	11	0,0	7,6	270	0,0
Toay	60,2	1,9	465	57,4	956	0,0
Trenel	3,2	0,0	0,0	8,7	300	0,0
Utracán	45,4	61,0	944	79,8	1,6	0,0
subtotales	422,7	194,2	4,5	501,7	17,2	5,9
totales	1 150,7					

4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN

El análisis de alternativas de localización de la Planta de generación de energía parte de analizar dos restricciones básicas relacionadas con la logística de transporte de insumos y la conectividad a la red de media tensión existente.

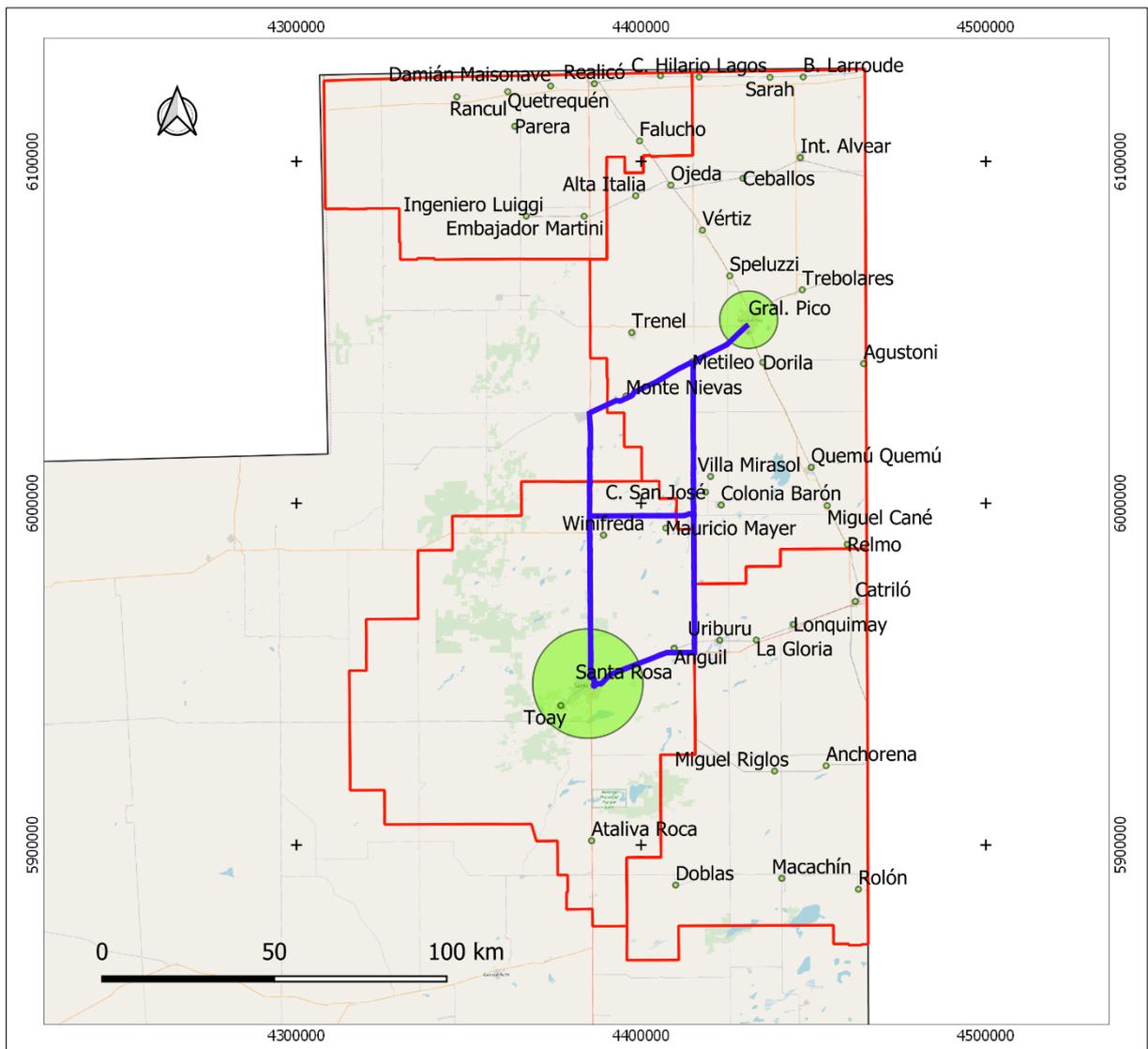
A partir de estas restricciones básicas se identificaron tres sitios con aptitud para la instalación de la planta de generación de energía. Estos sitios a su vez fueron evaluados en un marco de análisis multicriterio para definir el sitio más apto teniendo en cuenta parámetros logísticos, ambientales, de conectividad, de disponibilidad de servicios, distancias a áreas urbanas y condiciones de titularidad de los predios.

Una primera aproximación a las áreas de interés se realizó identificando los corredores viales que interconectan las dos ciudades con mayor generación de residuos, Santa Rosa y General Pico.

Esta aproximación se realizó utilizando herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El análisis SIG de modelización y análisis de terreno implica la extracción o creación de nueva información a partir del examen, modelización e interpretación de información existente. En este caso se utilizaron herramientas de superposición de capas y análisis multicriterio.

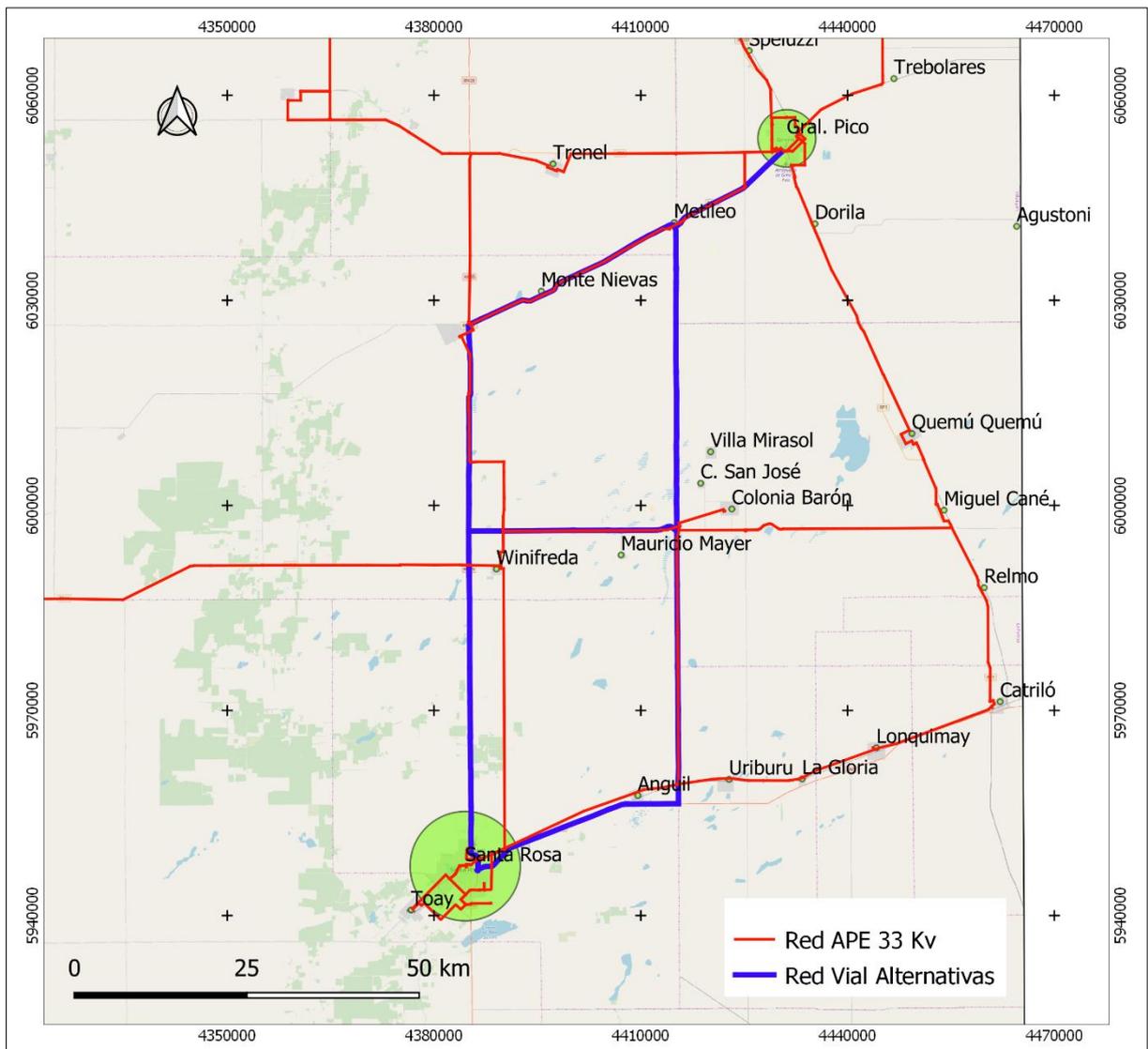
En el siguiente mapa se indica el resultado de la superposición de capas de localidades según su peso específico en la generación de residuos y los corredores viales que interconectan las localidades de mayor generación, Santa Rosa y General Pico.

Figura 10: Corredores viales de interconexión Santa Rosa – Gral. Pico



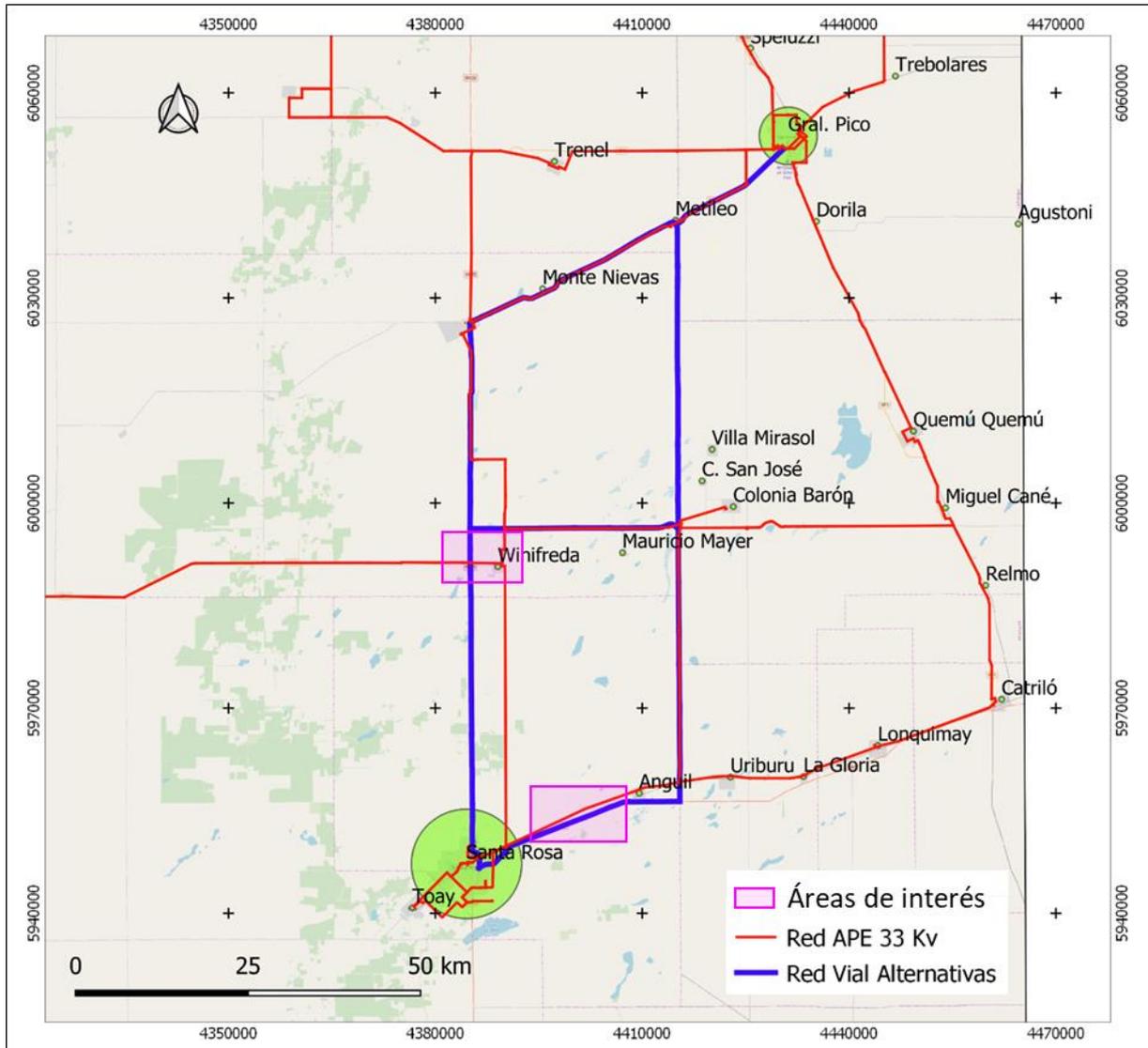
A continuación se superpone la capa de la red eléctrica de transporte en 33Kv de la Administración Provincial de Energía (APE) , con el objetivo de analizar espacialmente las áreas que tenga al mismo tiempo: cercanía a los centros de mayor generación; accesibilidad por caminos asfaltados y conectividad a la red de transporte de energía.

Figura 11: Principales localidades, corredores viales y red de transporte de energía en 33Kv



Del análisis desarrollado surgen dos áreas de interés para la localización de la Planta de generación de energía, según se indica en el siguiente mapa.

Figura 12: Áreas de interés



En dichas Áreas de interés se identifican tres predios sobre los cuales se desarrollará el análisis multicriterio de aptitud para la localización de la Planta de Generación de Energía.

La Alternativa 1 corresponde a un predio privado localizado sobre un camino vecinal con acceso desde la Ruta Nacional N°5 distante 10 km de la localidad de Santa Rosa; la Alternativa 2 corresponde a un sitio de dominio público provincial sobre la Ruta Nacional N° 5 distante a 17 km de la localidad de Santa Rosa y la Alternativa 3 corresponde a un sitio localizado en la localidad de Winifreda a 2 km de la Ruta Nacional N° 35.

En los siguientes mapas se indica las ubicaciones geográficas de cada sitio alternativo.

Figura 13: Sitios identificados para el análisis de alternativas

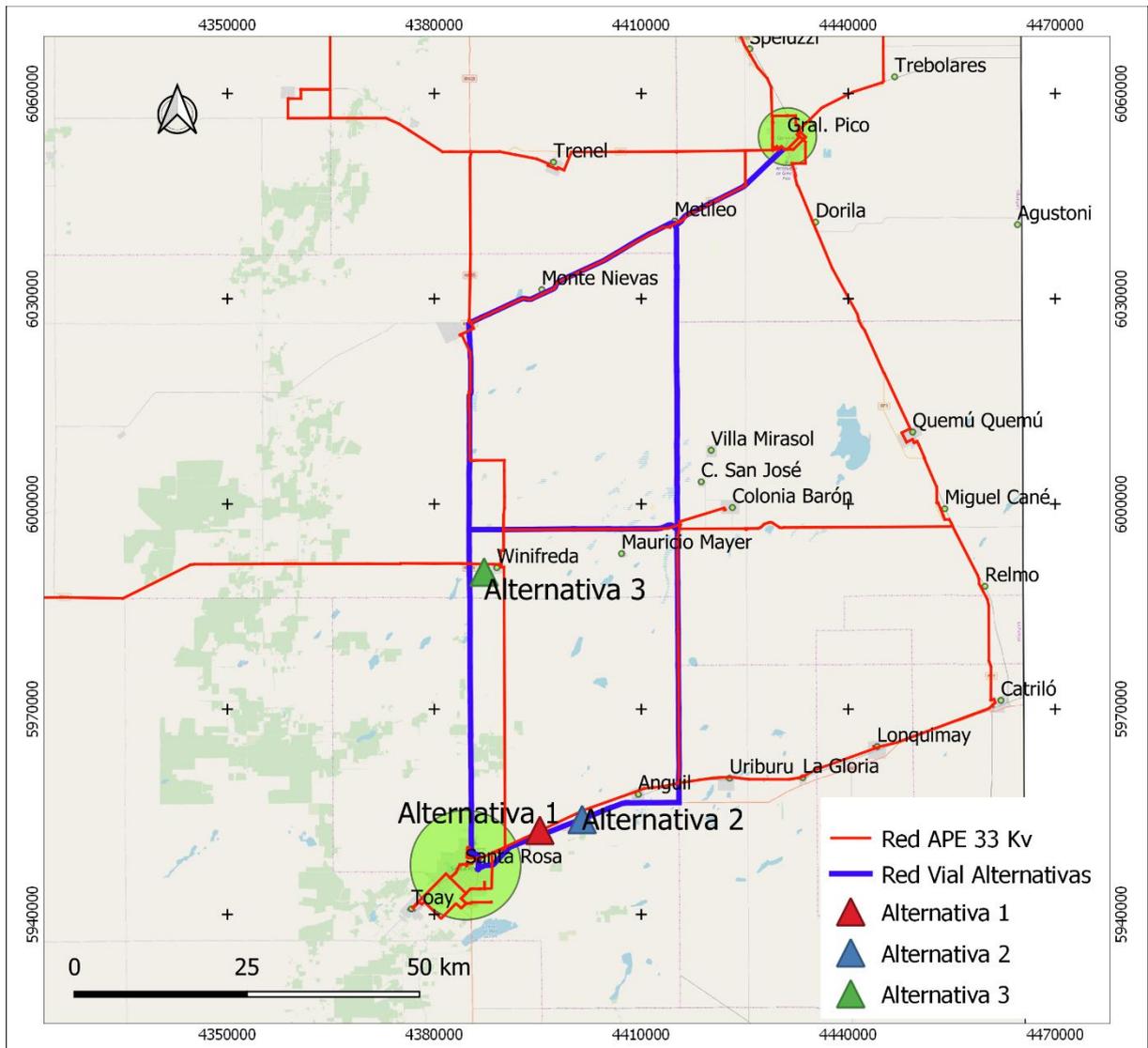


Figura 14: Sitio Alternativa 1

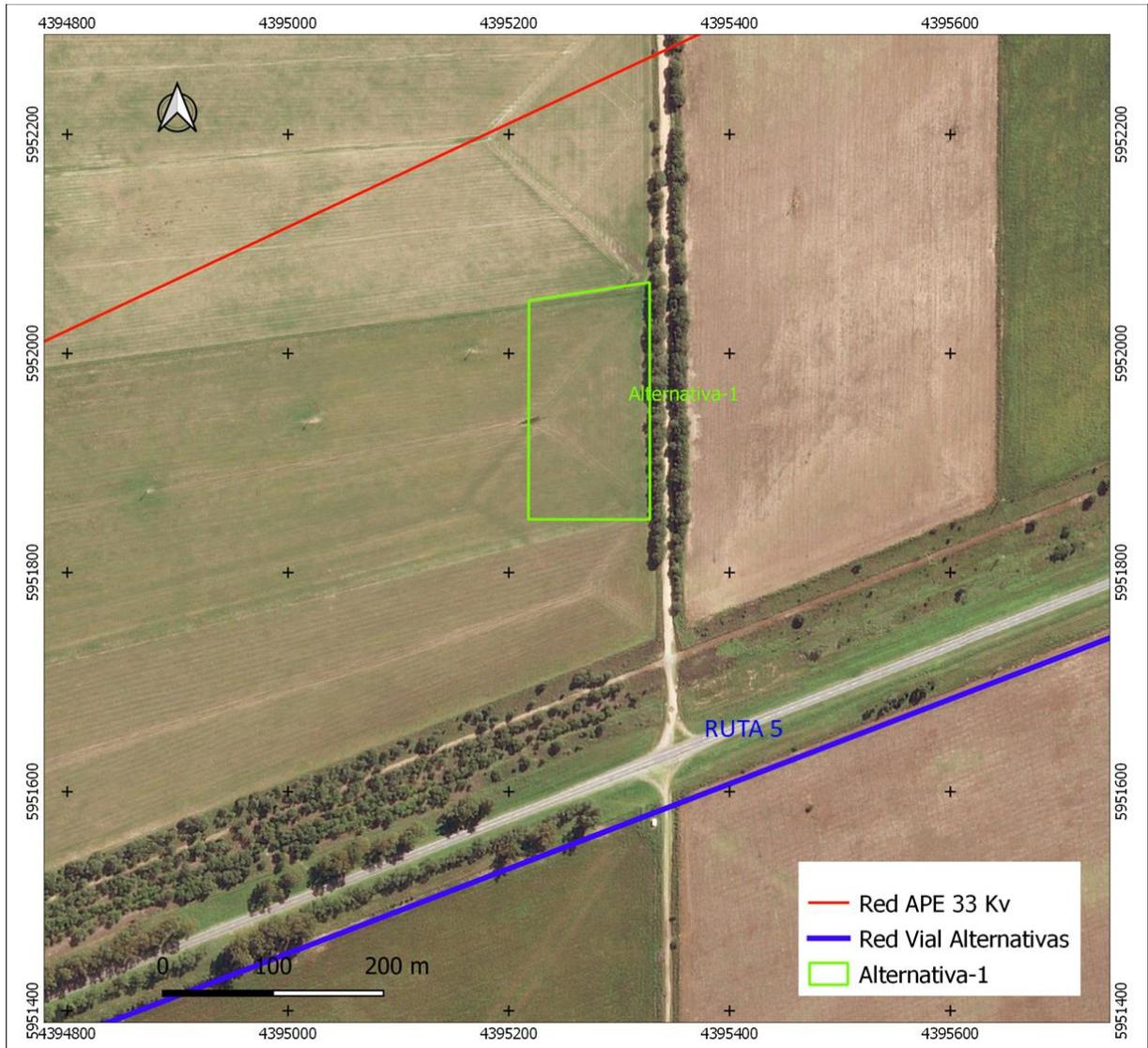


Figura 15: Sitio alternativa 2



Figura 16: Sitio Alternativa 3



1.1 METODOLOGÍA

El proceso analítico jerárquico (AHP) involucra todos los aspectos del proceso de toma de decisiones: modela el problema a través de una estructura jerárquica y utiliza una escala de prioridades basada en la preferencia de un elemento sobre otro. De este modo combina la multiplicidad de escalas correspondientes a los diferentes criterios, sintetiza los juicios emitidos y entrega un ordenamiento de las alternativas de acuerdo a los pesos obtenidos (prioridades).

1.1.1 Principios

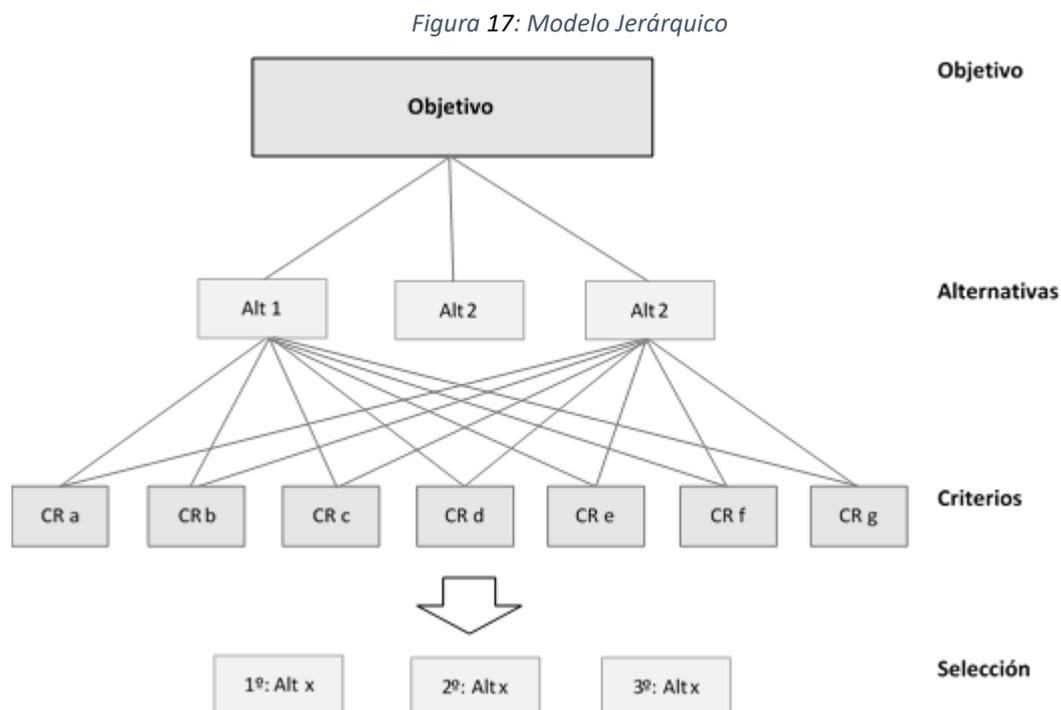
Esta metodología propone una manera de ordenar el pensamiento analítico destacando tres principios básicos:

- El principio de la construcción de jerarquías
- El principio del establecimiento de prioridades
- El principio de la consistencia lógica

Los sistemas complejos pueden ser mejor comprendidos mediante su descomposición en elementos constituyentes, la estructuración de dichos elementos jerárquicamente y la composición o síntesis de los juicios de acuerdo con la importancia relativa de los elementos de cada nivel de jerarquía más simples son lineales, ascendiendo o descendiendo de un nivel a otro.

Las jerarquías que trata el método de AHP son aquellas que conducen un sistema hacia un objetivo deseado.

Cada conjunto de elementos en una jerarquía como la antes mencionada ocupa un nivel de la jerarquía. El nivel superior, llamado Foco, consta solamente de un elemento: el objetivo amplio y global. Los niveles siguientes pueden tener cada uno diversos elementos, aunque su cantidad es generalmente pequeña, entre cinco y nueve elementos. Debido a que los elementos de un nivel deberán compararse uno con el otro en función de un criterio del nivel superior siguiente, los elementos de cada nivel deben ser del mismo orden de magnitud.



FUENTE: EUSKAL SA

El segundo principio de este método multi-criterio es el establecimiento de prioridades entre los elementos de la jerarquía. Se propone una escala de prioridades como forma de independizarse de las diferentes escalas que existen entre sus componentes. Los seres humanos perciben relaciones entre los elementos que describen una situación, pueden realizar comparaciones a pares entre ellos con respecto un cierto criterio y de esta manera expresar la preferencia de uno sobre otro. La síntesis del conjunto de estos juicios arroja la escala de intensidades de preferencias (prioridad) entre el total de elementos comparados. De esta forma es posible integrar el pensamiento lógico con los sentimientos, la intuición, (que es reflejo de la experiencia) los juicios que son ingresados en las comparaciones a pares responden a estos factores.

De acuerdo a lo anterior, el primer paso para establecer las prioridades es realizar comparaciones a pares entre elementos de un mismo nivel con respecto del elemento de nivel superior de que dependen. Las matrices de comparación resultan ser la forma más conveniente para esta etapa del proceso, en cada elemento de la matriz se ingresa el valor de la preferencia del elemento, por sobre el elemento. De acuerdo con el procedimiento matemático propuesto por la metodología, una vez completadas las matrices de comparación, la obtención de las prioridades se transforma en un problema de vectores y valores propios, donde el vector propio asociado al mayor valor propio de cada matriz de comparaciones representa el orden de prioridades mientras que el mayor valor propio es una medida de la consistencia del juicio.

El tercer principio del pensamiento analítico es la consistencia lógica. Los seres humanos tienen la capacidad de establecer relaciones entre los objetos o las ideas, de manera que sean consistentes, es decir, que se relacionen bien entre sí y sus relaciones muestren congruencia. En este sentido, consistencia implica dos cosas: transitividad y proporcionalidad; la primera es que deben respetarse las relaciones de orden entre los elementos, es decir, si A es mayor que C y C es mayor que B entonces la lógica dice que A es mayor que B. La segunda es que las proporciones entre los órdenes de magnitud de estas preferencias también deben cumplirse con un rango de error permitido. Por ejemplo si A es 3 veces mayor que C y C es dos mayor que B entonces A debe ser 6 veces mayor que B, este sería un juicio 100% consistente (se cumple la relación de transitividad y de proporcionalidad).

1.1.2 Escala

La escala a que se hace referencia existe en el inconsciente, no está explícita y sus valores no son números exactos, lo que existe en el cerebro es un ordenamiento jerárquico para los elementos. Dada la ausencia de valores exactos para esta escala la mente humana no está preparada para emitir juicios 100% consistentes (que cumplan las relaciones de transitividad y proporcionalidad). Se espera que se viole la proporcionalidad de manera tal que no signifique violaciones a la transitividad.

En la siguiente tabla se definen y explican los elementos que forman la escala recomendada para las comparaciones a pares entre los elementos de los niveles de la jerarquía, los valores en ella contenidos representan una escala absoluta, con los que se puede operar perfectamente. En todo caso cabe señalar que el método es independiente de la escala utilizada.

Tabla 4: Escala de Valoraciones

Intensidad de Importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual modo al objetivo.
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra, su predominio se demostró en la práctica.
9	Extrema	Las pruebas que favorecen a una actividad más que a otra son del nivel de aceptación más alto posible
2-4-6-8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes	Son necesarios cuando no se puede asegurar con certeza que se cumplan las condiciones vistas para los demás valores. Se usan como valores de consenso entre dos juicios.
Recíprocos de lo anterior	Si a la actividad i se le ha asignado uno de los números distintos de cero mencionados cuando se compara con la actividad j, entonces j tiene el recíproco cuando se la compara con i.	Una comparación que surge de la elección del elemento más pequeño como unidad, para estimar el mayor como múltiplo de esa unidad
Racionales	Coefficientes que surgen de la escala	Si se forzara la consistencia obteniendo n valores numéricos para abarcar la matriz
Incrementos de 0.1	Valores intermedios en la graduación más fina de 0.1 (Por ejemplo 5.2 es una entrada válida).	Usados para graduaciones más finas de los juicios

De esta manera el Análisis Jerárquico de Procesos integra aspectos cualitativos y cuantitativos en un proceso único de decisión, en el que es posible incorporar simultáneamente valores personales y pensamiento lógico en una estructura única de análisis, de modo de convertir el proceso que ocurre naturalmente en nuestra mente en un proceso explícito, facilitando y promoviendo la toma de decisiones bajo escenarios multi-criterios, promoviendo resultados más objetivos y confiables.

Un supuesto importante implícito en este modelo es que es necesario partir de la base de que no existe la decisión "correcta e inmutable" (como si se tratara de un sistema de ecuaciones donde se deba despejar y encontrar el valor exacto de x). Esto queda determinado por las percepciones de quienes participan en el proceso, de esta manera las decisiones son subjetivas y dependen de los valores y objetivos personales, del momento, etc. Hay que recordar que los juicios considerados en la evaluación están sujetos a las condiciones impuestas por el escenario existente al momento de realizar el análisis, las decisiones propuestas por el modelo son válidas para esa realidad, en ese instante de tiempo. Para otras circunstancias (otro escenario) es probable que la importancia relativa de los criterios sea diferente.

1.1.3 Procedimiento

Para determinar la mejor decisión, el método AHP requiere:

1. **Definición del problema:** En esta etapa debe quedar claramente definido el objetivo general del proceso de decisión junto con los actores involucrados en él. Además se debe entregar una descripción del ambiente en que se desarrollará el estudio, sus características socio-económicas, ambientales, culturales, etc. dependiendo de los parámetros afectados por los proyectos en cuestión.
2. **Definición de actores:** Los participantes involucrados en el proceso de decisión, deben ser cuidadosamente seleccionados, ya que de estos depende la representatividad del resultado del modelo.
3. **Estructurar el problema de decisión en un modelo de jerarquía (Jerarquizar):** En esta etapa se debe construir una estructura jerárquica que involucre todos los aspectos de interés, para la jerarquización de las alternativas.
4. **Selección de las alternativas factibles:** Dentro de todas las posibilidades de proyectos alternativos se seleccionan aquellos que son factibles de realizar bajo un punto de vista de análisis general, donde se consideran criterios tales como la factibilidad técnica o económica.
5. **Construcción del modelo jerárquico:** Se estructura el problema planteado en una jerarquía de criterios y alternativas. Para esto es necesario definir en una primera instancia los criterios estratégicos que participan en la decisión (Políticos, económicos, sociales, medioambientales, etc.). Por lo general estos criterios son a nivel macro y representan los objetivos perseguidos por el proyecto. Una vez hecho esto, se procede a desglosar cada uno de los criterios definidos en la etapa anterior hasta llegar a un nivel de especificación que permita un fácil análisis y la comparación de las alternativas.
6. **Ingreso de los juicios:** En base a la información obtenida o a la percepción de los actores del proceso se ingresan los juicios para cada par de elementos. Se comienza del primer nivel, dónde se encuentran los criterios estratégicos, se compara su importancia relativa con respecto del logro del objetivo general, luego se desciende en los niveles jerárquicos, siempre realizando comparaciones de a pares referidos al nivel inmediatamente superior, hasta llegar al último nivel donde se encuentran las alternativas, las que son evaluadas en base a criterios técnicos más fáciles de tratar.
7. **Síntesis de los resultados:** Como se explicó en los párrafos anteriores, por medio de comparaciones entre pares de elementos con respecto a su nivel inmediatamente superior y, gracias a la propiedad de transitividad entre los elementos, es posible establecer un ranking de prioridades para las diferentes alternativas, ranking que, dependiendo de la problemática, enfrentada representa la decisión a adoptar.
8. **Validación de la decisión:** Para otorgar mayor confiabilidad a la decisión se debe establecer el rango de variación del peso relativo de los criterios estratégicos que soporta la decisión sin cambiar de alternativa propuesta, para esto se realiza un análisis de sensibilidad dónde se analizan diversos escenarios posibles, determinando los puntos de corte para el peso de cada uno de los criterios.

1.1.4 Justificación metodológica

De acuerdo a lo establecido anteriormente sobre el proceso analítico jerárquico, una vez que se ha construido el modelo jerárquico, en donde se incorporen los diferentes criterios y alternativas relevantes para el proceso de decisión en cuestión y se han ingresado los juicios correspondientes a la comparaciones a pares entre los diferentes elementos del modelo, el problema se reduce al cálculo de valores y vectores propios los que representarán las prioridades y el índice de consistencia del proceso respectivamente.

Por lo general se tiene:

$$A * w = \lambda * w$$

Donde:

A = Matriz recíproca de comparaciones a pares (juicios de importancia/preferencia de un criterio sobre otro)

W = Vector propio

λ = Máximo valor propio

Para la justificación de por qué las prioridades para un proceso de toma de decisiones, estructurado de esta forma, quedan determinadas por la solución de un problema de vectores y valores propios, es necesario recurrir a nociones básicas de matemáticas y de álgebra lineal.

En primer lugar supóngase que es posible realizar mediciones exactas para los Juicios.

Supongamos un conjunto de n bolitas de distinto peso. Sea: w_i = Peso de la bolita c_i a_{ij} = Juicio de la comparaciones emitidas, c_i es a_{ij} veces c_j .

En este caso en particular: $a_{ij} = w_i / w_j$ entonces se tiene:

$$[A] = \begin{bmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{bmatrix}$$

En este caso se cumple:

$$A * w = \lambda * w,$$

Donde w es el vector propio de [A].

En esta oportunidad se realizó una simplificación de lo que ocurre en los procesos de decisión, para los cuales es muy poco probable que los a_{ij} sean valores exactos ya que representan juicios humanos emitidos en la mayoría de las veces como variables cualitativas.

El hecho de asumir que a_{ij} es un valor exacto es conceptualmente erróneo si se considera que lo que pretende este valor es representar la percepción de la persona que toma la decisión.

Continuando con el ejemplo, supóngase ahora que no es posible obtener un valor exacto para el peso de cada bolita, w_i , en el caso exacto se tiene que:

$$a_{ij} = w_i / w_j \text{ entonces } w_i = a_{ij} * w_j.$$

En el caso de aproximado se tiene $w_1 \approx a_{12} * w_2 \approx a_{13} * w_3 \approx a_{1n} * w_n$, Al aplicar la ley de los grandes números:

$$\text{En general: } w_i = (1/n) * \sum a_{ij} * w_j$$

(El promedio de la muestra es el mejor valor).

En este caso se cumple con el caso ideal, pero se restringe demasiado el sistema para encontrar el vector de prioridades W que cumpla con estas relaciones, por lo tanto es necesario relajar un poco más el sistema.

Para el caso de buenas estimaciones a_{ij} tiende al valor w_i / w_j por lo que se dice que a_{ij} es una pequeña perturbación de w_i / w_j . Si a_{ij} cambia, w_i y w_j pueden cambiar para ajustarse al nuevo valor, si n también cambia.

El problema queda planteado entonces como:

$$w_i = \left(\frac{1}{\lambda_{\max}} \right) * \sum_j a_{ij} * w_j$$

Donde λ_{\max} es una relajación de n , de esta manera

$$\sum_j a_{ij} * w_j = \lambda_{\max} * w_i$$

Matricialmente

$$A * w = \lambda * w$$

Este es precisamente el problema de valores y vectores propios planteado al comienzo de la sección. Dado que la matriz $[A]$ es recíproca ($a_{ij} = 1/a_{ji} \forall i, j$) el problema tiene solución y es único, además esto asegura su estabilidad (pequeñas perturbaciones en a_{ij} generan modificaciones menores en λ_{\max} y W).

La solución $a_{ij} = w_i / w_j$ al problema $[A] * W = \lambda * W$ supone total consistencia de los juicios, hecho que en la realidad es muy difícil de encontrar, al transformar el problema de modo que $[A'] * W' = \lambda_{\max} * W'$, se está frente a una situación más realista. Aquí λ_{\max} es el mayor valor propio de $[A']$ y $[A']$ es la matriz recíproca de las comparaciones a pares formada por los a_{ij} que constituyen estimaciones de los w_i / w_j .

1.1.5 Axiomas proceso analítico jerárquico

Es importante destacar, que el modelo jerárquico empleado para un determinado proceso de decisión debe cumplir cuatro axiomas principales. Sólo de esta manera son posibles y tienen real sentido los fundamentos teóricos expuestos en el punto anterior.

Reciprocidad, Axioma 1: Dadas dos alternativas A_i y $A_j \in A \times A$, la intensidad de la preferencia de A_i sobre A_j es inversa a la intensidad de preferencia de A_j sobre A_i .

Homogeneidad, Axioma 2: Cuando se comparan dos alternativas, el tomador de decisión nunca juzga a una como infinitamente superior a la otra, bajo ningún criterio. De otra forma; para comparar dos elementos de acuerdo a un criterio dado, hay que disponer de una escala acotada.

Bajo el contexto metodológico, la homogeneidad apunta a que los elementos a comparar deben ser de un mismo orden de magnitud. Al construir el modelo jerárquico todos los elementos hijos (que se desprenden) de un determinado elemento deben ser parecidos, si en un modelo, los subcriterios que describen completamente al criterio padre, no cumplen esta condición es necesario agregar niveles intermedios para separar los distintos órdenes de magnitud.

Dependencia, Axioma 3: Los problemas de decisión pueden ser formulados como una jerarquía.

Este axioma apunta a la posibilidad de comparar elementos en la jerarquía, es necesario tener controlada la dependencia entre los elementos de dos niveles consecutivos (externo - dependencia) y dentro de un mismo nivel (interno dependencia). Un modelo jerárquico se caracteriza por que sus elementos tienen externa dependencia unidireccional, es decir, los hijos dependen de sus padres y no hay relación entre ellos.

Expectativas, Axioma 4: La jerarquía es un modelo que representa todos los criterios y alternativas.

Este axioma está relacionado con la necesidad de agregar o eliminar alternativas a modo de representar fielmente la percepción de los actores involucrados en el proceso de decisión.

Los axiomas anteriores constituyen el marco que delimita como abordar las dos principales tareas del método AHP: formular y resolver el problema como una jerarquía y explicitar los juicios en forma de comparaciones de a pares.

La explicitación de prioridades para cierto set de alternativas bajo un criterio dado, implica completar una matriz de $n \times n$, donde n es el número de alternativas a comparar. Sin embargo, dado que las comparaciones son recíprocas por el Axioma 1, sólo se necesita hacer $n(n-1)/2$ comparaciones de a pares.

1.2 EVALUACIÓN

1.2.1 Objetivo

El objetivo general del presente estudio es la selección de la alternativa más eficiente para la instalación de la Planta de Generación de Energía, en condiciones de sustentabilidad ambiental, económica y social.

1.2.2 Definición de actores

Las alternativas a ser evaluadas, los parámetros clave y la valoración de los mismos han sido consensuados entre el equipo de especialistas de Euskal Ingeniería SA con las autoridades y los equipos técnicos de la Secretaría de Energía y Minería y la Subsecretaría de Ambiente del Gobierno de la Provincia de La Pampa.

1.2.3 Definición de criterios

De las distintas reuniones y entrevistas realizadas con autoridades provinciales y la experiencia del equipo de especialistas se definieron los siguientes criterios para la evaluación de alternativas de localización.

Tabla 5: Criterios de Sustentabilidad

Atributo o criterio	Código	Definición del criterio
Conectividad	CON	Valoración de la distancia del predio a un punto de conectividad sobre la línea de transporte de energía.
Accesibilidad	ACC	Valoración de las condiciones de accesibilidad, rutas, caminos vecinales, del sitio desde los principales centros de generación de residuos.
Distancias a los centros de generación	DIST-G	Valoración de la distancia a los centros de generación de residuos
Superficie disponible	SUP	Valorización de la superficie disponible para la infraestructura.
Situación dominial	DOM	Valoración de la titularidad del predio, pública o privada, en sucesión, costo de la tierra.
Disponibilidad de servicios	SERV	Disponibilidad de servicios públicos, agua, cloacas.
Condiciones de seguridad ambiental	AMB	Valoración de las condiciones de seguridad y sustentabilidad ambiental de los sitios. Profundidad de la napa freática; anegabilidad; Impacto sobre bosque nativo; características del suelo; dirección de los vientos; distancia a áreas urbanas.

• Fuente: EUSKAL SA

1.2.4 Valoración de los criterios de evaluación

1.2.5 Matriz de ponderación de criterios

En base a la información obtenida y a la percepción de los actores del proceso se construye la matriz de valoración de los criterios de evaluación.

Con los criterios de sustentabilidad definidos en la *Tabla 5*, cada decisor realizó el análisis por pares. Es decir, se comparó la importancia de cada uno de los criterios de manera biunívoca o par a par, los criterios establecidos verticalmente contra los criterios establecidos horizontalmente y así sucesivamente, hasta comparar cada uno de los criterios verticales con los horizontales, construyendo la matriz de ponderación de criterios.

Tabla 6: Matriz de ponderación de criterios

Matriz de ponderación de criterios	Condiciones ambientales	Distancia a CG	Conectividad	Situación dominal	Accesibilidad	Superficie disponible	Disponibilidad de serv.
Condiciones ambientales	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0
Distancia a CG	0.5	1.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0
Conectividad	0.3	0.5	1.0	1.0	2.0	3.0	4.0
Situación dominal	0.3	0.3	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0
Accesibilidad	0.3	0.3	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0
Superficie disponible	0.3	0.3	0.3	0.5	1.0	1.0	1.0
Disponibilidad de serv.	0.3	0.3	0.3	0.5	1.0	1.0	1.0
Suma	2.8	4.4	7.8	9.5	11.0	15.0	16.0

Fuente: EUSKAL SA

Normalización de las decisiones. Una vez realizadas las comparaciones de todos los criterios de la Tabla anterior, las calificaciones otorgadas por los decisores se tratan matemáticamente como una matriz, para lo cual se suman cada uno de los valores de las columnas hasta obtener la sumatoria total para cada una.

Posteriormente, se normaliza la matriz de la *Tabla 6*, es decir, se divide cada término de cada una de las columnas por el valor de la suma total de su respectiva columna, obteniendo la matriz normalizada de ponderación de criterios.

Tabla 7: Matriz normalizada de ponderación de criterios

Matriz normalizada de ponderación de criterios	Condiciones ambientales	Distancia a CG	Conectividad	Situación dominial	Accesibilidad	Superficie disponible	Disponibilidad de serv.	Ponderación
Cond. ambientales	0.36	0.45	0.38	0.32	0.27	0.27	0.25	32.9%
Distancia a CG	0.18	0.23	0.26	0.32	0.27	0.27	0.25	25.3%
Conectividad	0.12	0.11	0.13	0.11	0.18	0.20	0.25	15.7%
Situación dominial	0.12	0.08	0.13	0.11	0.09	0.13	0.13	11.1%
Accesibilidad	0.12	0.08	0.06	0.11	0.09	0.07	0.06	8.4%
Superficie disponible	0.09	0.06	0.04	0.05	0.09	0.07	0.06	6.6%
Disponibilidad de serv.	0.09	0.06	0.03	0.05	0.09	0.07	0.06	6.5%
Suma	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fuente: EUSKAL SA

1.2.6 Consistencia de las decisiones

Con la finalidad de determinar si los decisores han sido consistentes en sus evaluaciones, se analizan los valores de las Tablas precedentes y se calculan los siguientes indicadores.

Cálculo del máximo valor propio o lambda máximo- λ_{\max} . Se establece como el producto de la multiplicación de cada uno de los valores propios o autovectores de los criterios tomados de la *Tabla 7* por el total de la suma de los valores de la columna de cada criterio, como se describe en la próxima Tabla. El máximo valor propio es la suma de todos los máximos valores propios, calculados para cada criterio.

El máximo valor propio λ_{\max} para este trabajo es de 7,25.

Tabla 8: Análisis de consistencia de las ponderaciones

Analisis de consistencia	Condiciones ambientales	Distancia a CG	Conectividad	Situación dominial	Accesibilidad	Superficie disponible	Disponibilidad de serv.
Valores propios VP	0.33	0.25	0.16	0.11	0.08	0.07	0.06
suma	2.8	4.4	7.8	9.5	11.0	15.0	16.0
suma * VP	0.91	1.12	1.23	1.06	0.92	0.99	1.03
Maximo valor propio	7.25						
Indicadores de consistencia							
Indicador	Ecuaciones			Valor calculado			
Índice de consistencia geométrico (IC)	IC= $\lambda_{\max} - n / n-1$			0.042			
Índice de consistencia aleatorio (IA)	IA= $1.98 (n- 2) / n$			1.414285714			
Razón de Consistencia (RC)	IC/IA			0.030			

Fuente: EUSKAL SA

En la Tabla precedente, el resultado a resaltar es la razón de consistencia (RC), Saaty (2001) argumenta que cuando la razón de consistencia es inferior a 0.1, indica que los juicios están dentro de los límites recomendados, son consistentes y se debe continuar con el proceso.

Para este trabajo, la razón de consistencia (RC) es de 0,03 y siendo inferior a 0.1, se continua con la evaluación. Es necesario destacar que este resultado es producto de la normalización de las valoraciones de cada par de criterios ponderados, lo que arroja un índice de consistencia geométrico igual a cero.

1.2.7 Comparación de alternativas

Finalmente procedemos a comparar las alternativas identificadas, ante cada uno de los criterios, siguiendo el mismo proceso de las etapas anteriormente descritas: matriz de los puntajes otorgados por los decisores, matriz de normalización, hasta llegar a la columna de priorización, jerarquización o importancia de las alternativas acorde con los criterios en estudio.

Tabla 9: Matriz de ponderación de alternativas

Matriz de ponderación de Alternativas por criterio	Condiciones ambientales	Distancia a CG	Conectividad	Situación dominal	Accesibilidad	Superficie disponible	Disponibilidad de serv.
Alternativa 1	3	5	5	1	1	2	1
Alternativa 2	5	5	3	9	5	2	1
Alternativa 3	1	1	3	5	1	1	1
	9	11	11	15	7	5	3

Fuente: EUSKAL SA

Tabla 10: Matriz normalizada de ponderación de alternativas

Matriz normalizada de ponderación de sitios por criterio	Condiciones ambientales	Distancia a CG	Conectividad	Situación dominal	Accesibilidad	Superficie disponible	Disponibilidad de serv.
Alternativa 1	0.33	0.45	0.45	0.07	0.14	0.40	0.33
Alternativa 2	0.56	0.45	0.27	0.60	0.71	0.40	0.33
Alternativa 3	0.11	0.09	0.27	0.33	0.14	0.20	0.33
	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: EUSKAL SA

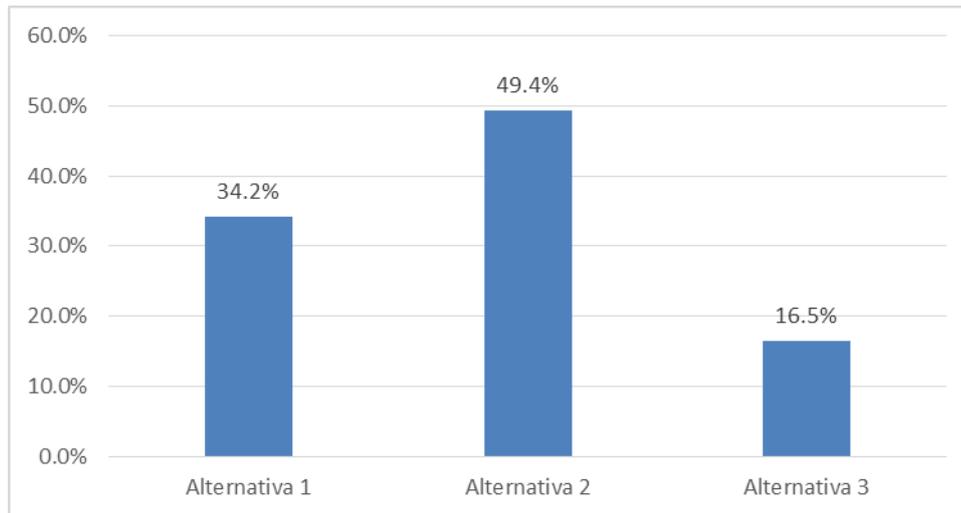
Tabla 11: Resultado de la evaluación MC – alternativas priorizadas

Fuente: EUSKAL SA

Tabla 12: Resultado de la evaluación MC – alternativas priorizadas

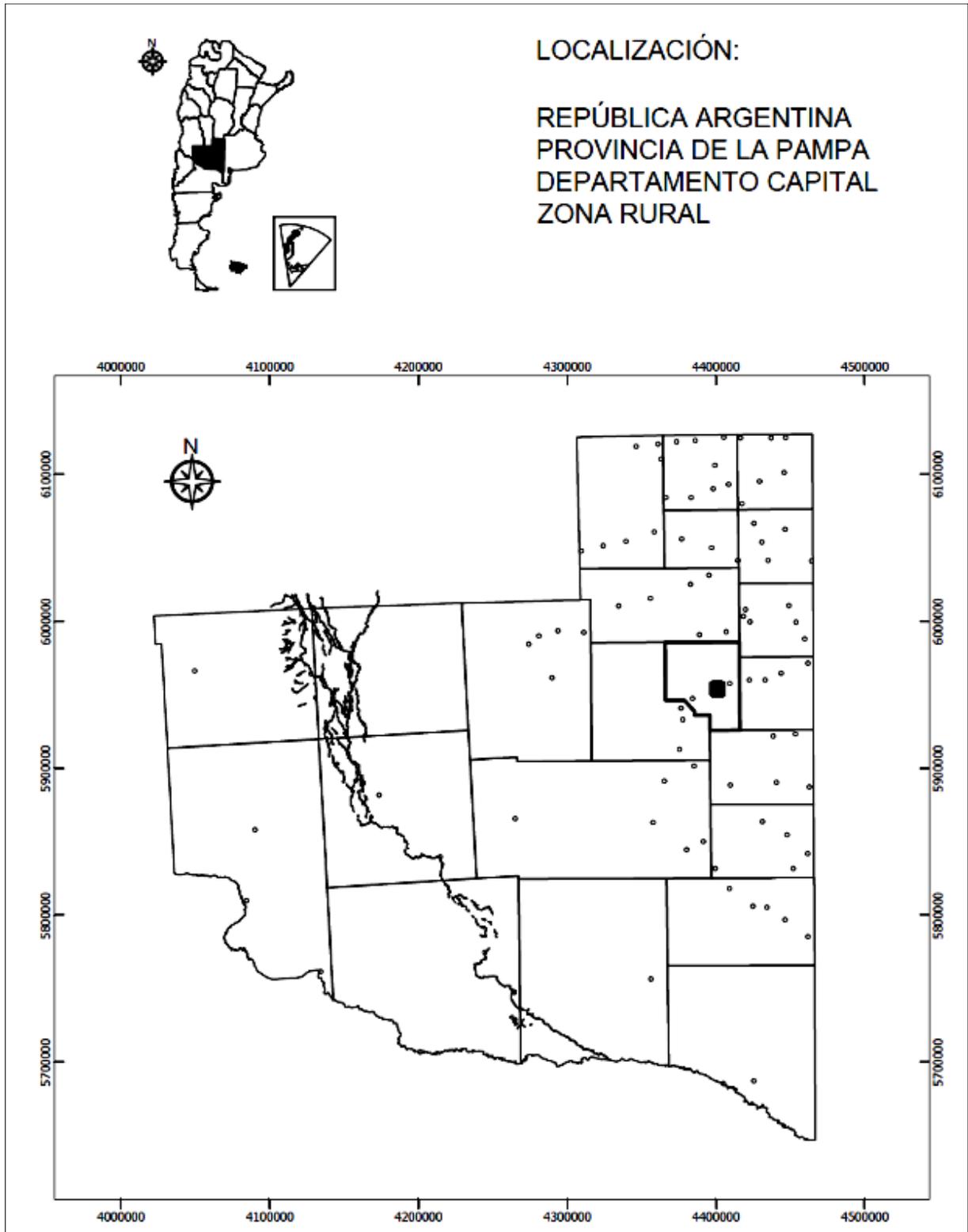
Alternativa	Evaluación	Priorización
Alternativa 1	34.2%	2
Alternativa 2	49.4%	1
Alternativa 3	16.5%	3

Fuente: EUSKAL SA

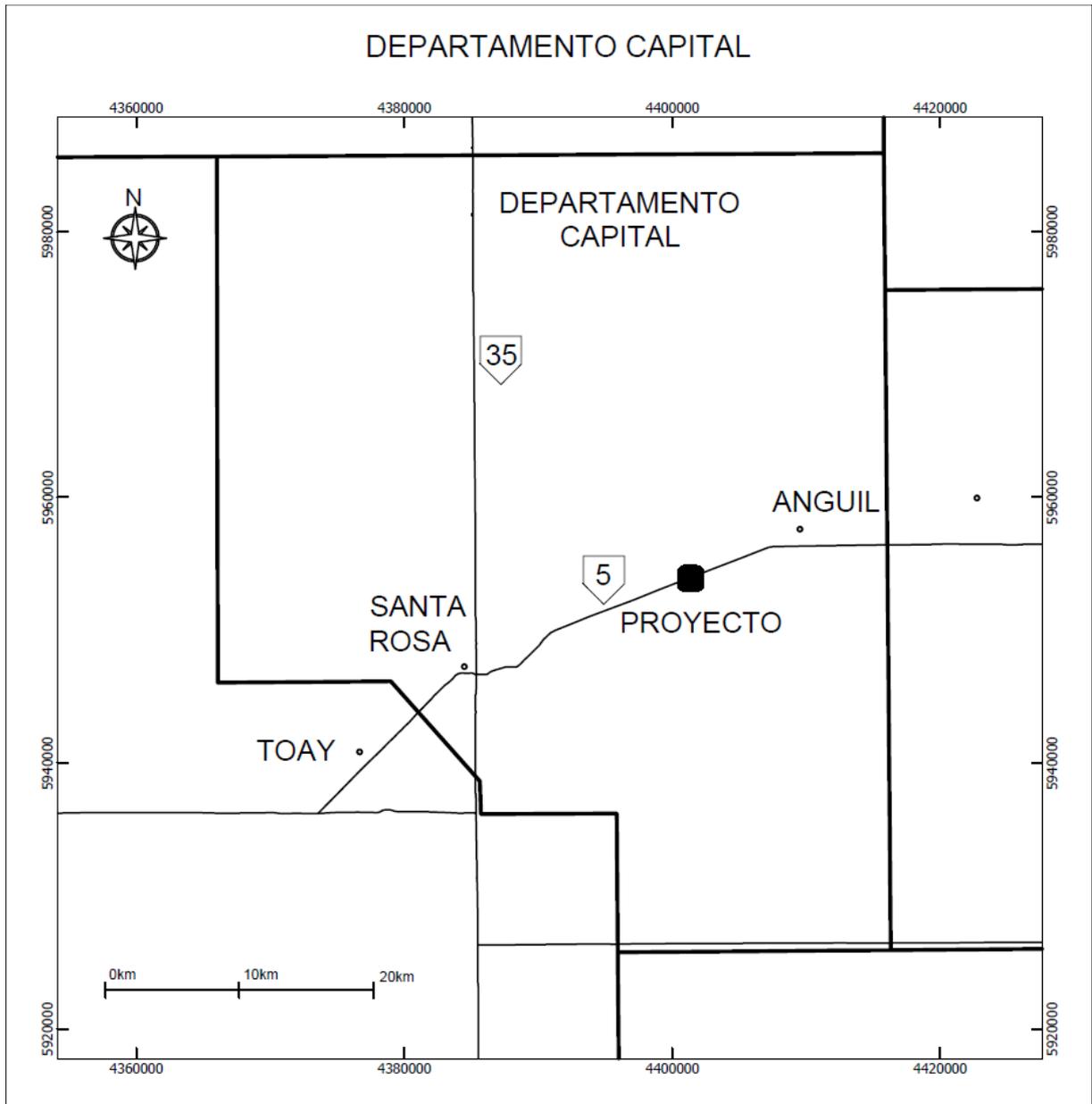


El análisis multicriterio realizado permite identificar que la Alternativa 2 es la opción que reúne las mejores condiciones para la instalación de la Planta de generación de energía.

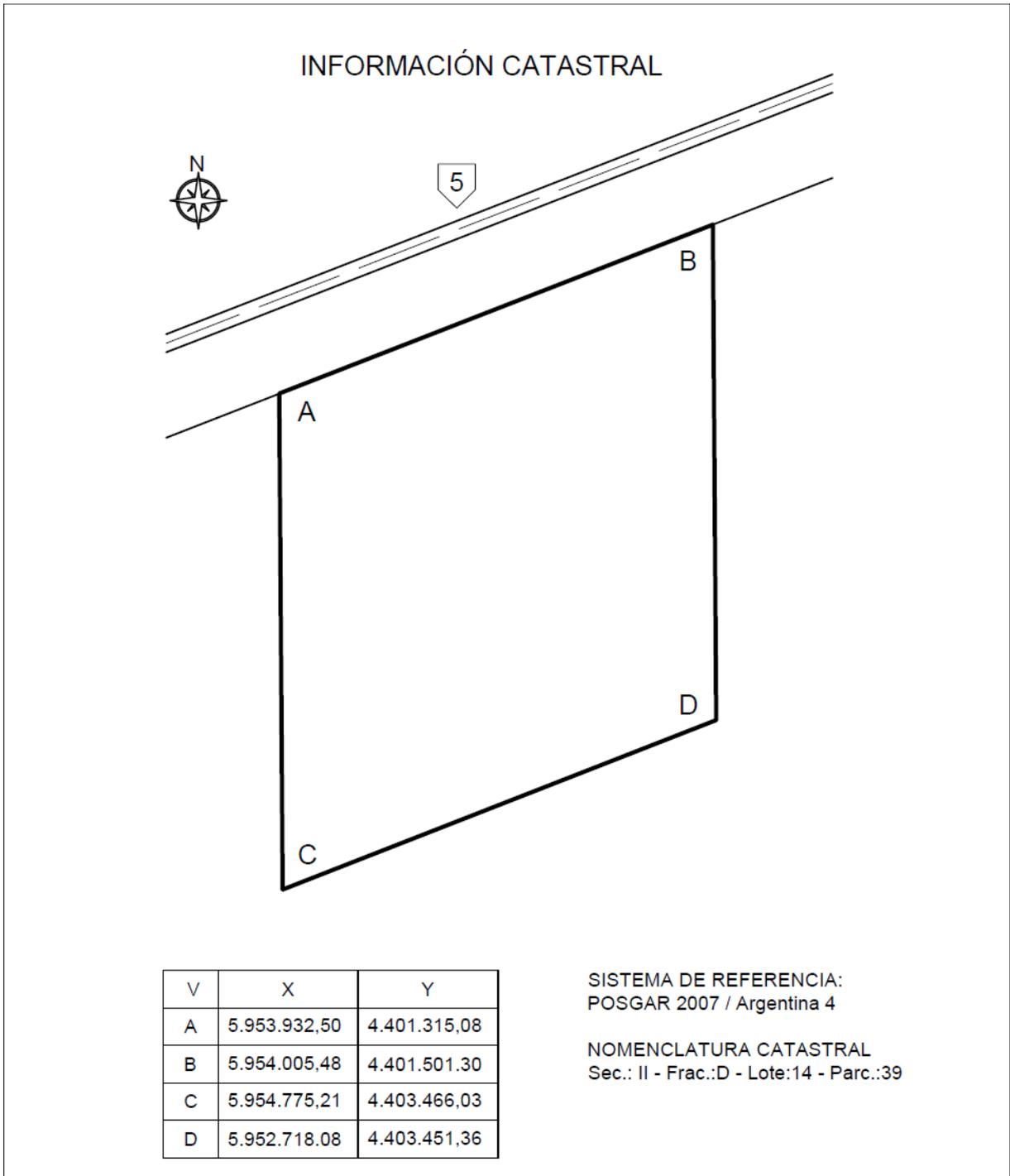
En los siguientes mapas se indica la localización específica del sitio y un diagrama general de implantación



• Fuente: EUSKAL SA



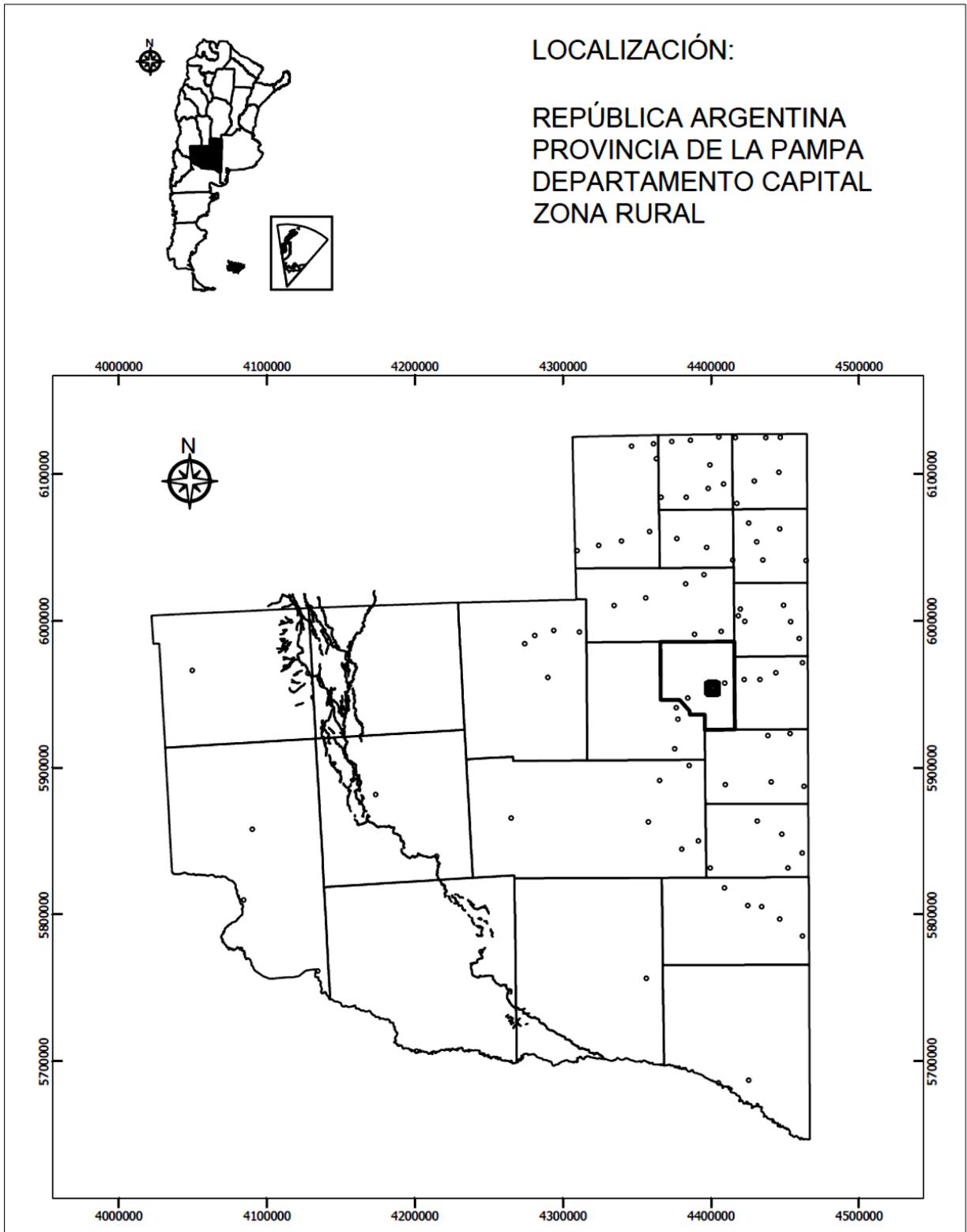
• Fuente: EUSKAL SA



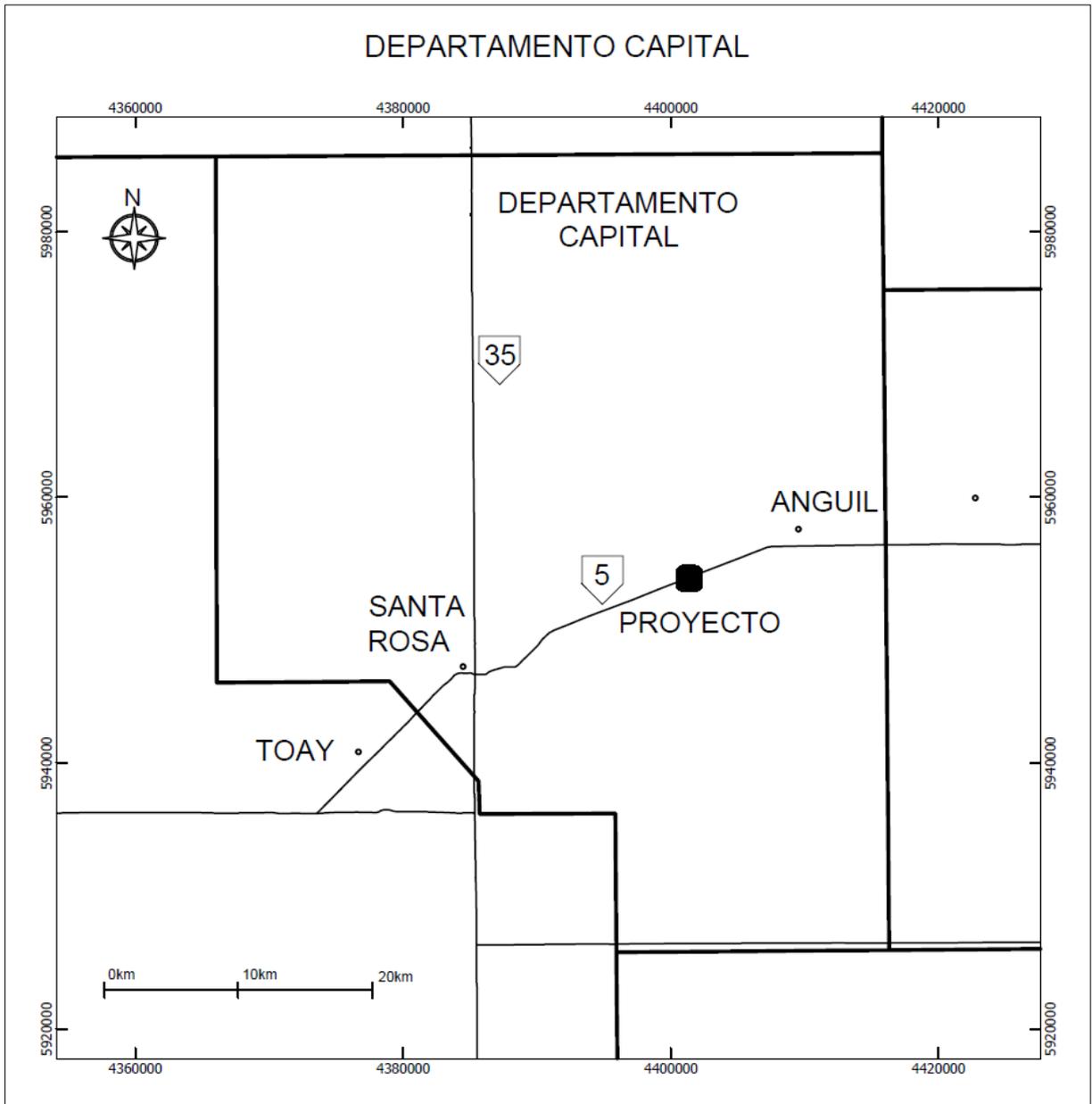
• Fuente: EUSKAL SA, en base a Catastro



• Fuente: EUSKAL SA

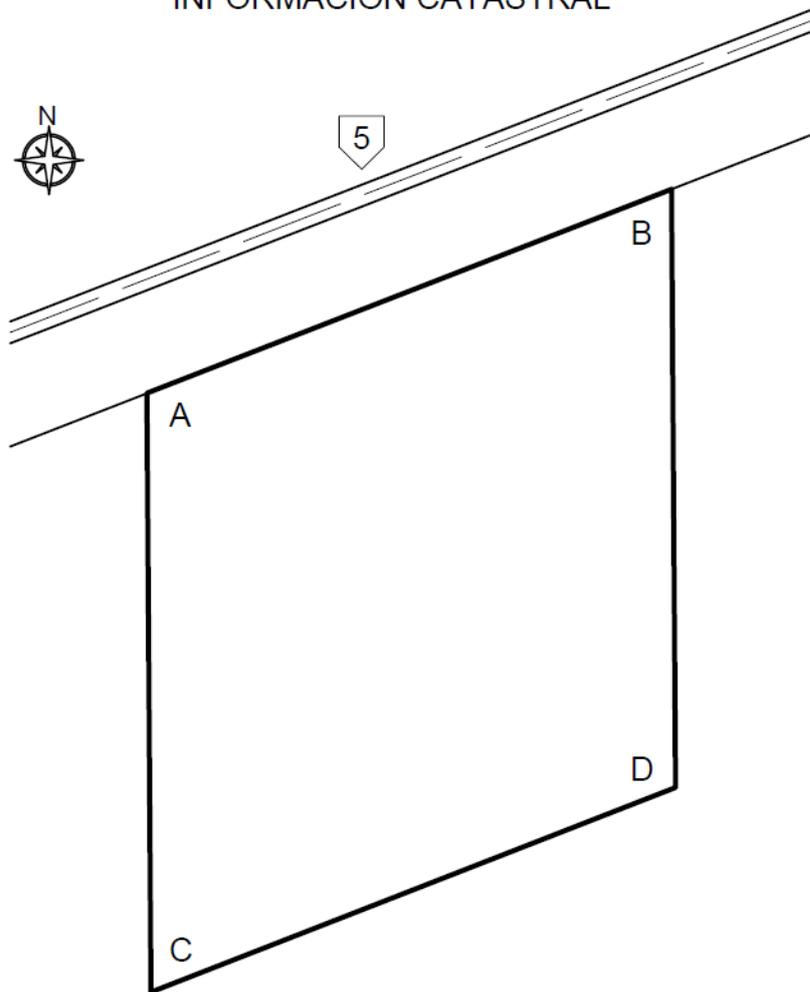


Fuente: EUSKAL SA



Fuente: EUSKAL SA

INFORMACIÓN CATASTRAL



V	X	Y
A	5.953.932,50	4.401.315,08
B	5.954.005,48	4.401.501,30
C	5.954.775,21	4.403.466,03
D	5.952.718,08	4.403.451,36

SISTEMA DE REFERENCIA:
POSGAR 2007 / Argentina 4

NOMENCLATURA CATASTRAL
Sec.: II - Frac.:D - Lote:14 - Parc.:39

Fuente: EUSKAL SA, en base a Catastro



Fuente: EUSKAL SA

5 MEMORIA DESCRIPTIVA - SISTEMA Y EQUIPAMIENTO

La actividad de la planta se basa en la obtención de energía eléctrica partiendo de energía primaria procedente de materiales de rechazo y descarte de las plantas de clasificación de residuos, alternativamente la planta podrá ser alimentada con distintas fuentes de biomasa. Estos materiales serán procesados, acondicionados para ser sometidos a un proceso de gasificación. El gas resultante será utilizado como combustible en cuatro motogeneradores con una capacidad instalada de 1,2 MWh.

La planta constará de dos naves, una de procesamiento y acondicionamiento de los materiales a gasificar y una segunda nave donde se alojará el núcleo gasificador de la planta. Asimismo las instalaciones contarán con baños y vestuarios para el personal y un área administrativa.

En los siguientes apartados, se describen de modo explicativo el proceso, las instalaciones y la operación de la planta.

En el diagrama de proceso se indican las principales operaciones unitarias del proceso de tratamiento del material, el proceso de gasificación y generación de energía.

5.1 PLANOS DE REFERENCIA

A continuación se detallan los planos de referencia correspondientes a la ingeniería conceptual de la planta de generación de energía.

PROYECTO	PLANO N°	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	ARCHIVO DWG
ÍNDICE GENERAL					
PGE	01	IG	ÍNDICE GENERAL DE PLANOS	rev_A	PGE - 01 - IG - rev_A .dwg
PGE	02	IG	SIMBOLOGÍA DE PROYECTO	rev_A	PGE - 02 - IG - rev_A .dwg
PLANIMETRÍA Y LOCALIZACIÓN					
PGE	03	PL	MENSURA	rev_A	PGE - 03 - PL - rev_A .dwg
PGE	04	PL	PLANIMETRÍA	rev_A	PGE - 04 - PL - rev_A .dwg
ARQUITECTURA					
PGE	05	ARQ	PLANTA GENERAL	rev_A	PGE - 05 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	06	ARQ	PLANTA GENERAL EDIFICIOS ALA OESTE	rev_A	PGE - 06 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	07	ARQ	PLANTA GENERAL EDIFICIO ALA ESTE	rev_A	PGE - 07 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	08	ARQ	PLANTA DE TECHOS	rev_A	PGE - 08 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	09	ARQ	CORTES	rev_A	PGE - 09 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	10	ARQ	VISTAS	rev_A	PGE - 10 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	11	ARQ	CERCO PERIMETRAL Y PORTAL DE ACCESO	rev_A	PGE - 11 - ARQ - rev_A .dwg
ESTRUCTURA					
PGE	12	EST	ESTRUCTURA NAVE I (1-2)	rev_A	PGE - 12 - EST - rev_A .dwg
PGE	13	EST	ESTRUCTURA NAVE I (2-2)	rev_A	PGE - 13 - EST - rev_A .dwg
PGE	14	EST	ESTRUCTURA NAVE II (1-3)	rev_A	PGE - 14 - EST - rev_A .dwg
PGE	15	EST	ESTRUCTURA NAVE II (2-3)	rev_A	PGE - 15 - EST - rev_A .dwg
PGE	16	EST	ESTRUCTURA NAVE II (3-3)	rev_A	PGE - 16 - EST - rev_A .dwg
PGE	17	EST	ESTRUCTURA ADMINISTRACIÓN	rev_A	PGE - 17 - EST - rev_A .dwg
PGE	18	EST	ESTRUCTURA BAÑOS Y VESTUARIOS	rev_A	PGE - 18 - EST - rev_A .dwg
VIALIDAD					
PGE	19	VIAL	VIALIDAD, CAMINOS INTERNOS	rev_A	PGE - 19 - VIAL - rev_A .dwg
INSTALACIONES					
PGE	20	I_SA	INSTALACIONES SANITARIAS	rev_A	PGE - 20 - I_SA - rev_A .dwg
PGE	21	I_EX	INSTALACIÓN FIJA EXTINCIÓN DE INCENDIO	rev_A	PGE - 21 - I_EX - rev_A .dwg
PGE	22	I_BT	RED ELÉCTRICA BAJA TENSIÓN	rev_A	PGE - 22 - I_BT - rev_A .dwg
PGE	23	I_MT	RED ELÉCTRICA MEDIA TENSIÓN	rev_A	PGE - 23 - I_MT - rev_A .dwg
PGE	24	I_DP	DESAGÜES PLUVIALES	rev_A	PGE - 24 - I_DP - rev_A .dwg
EQUIPAMIENTO					
PGE	25	EQ	EQUIPAMIENTO, DIAGRAMA FUNCIONAL	rev_A	PGE - 25 - EQ - rev_A .dwg
PROYECTO	PLANO N°	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	REVISIÓN	ARCHIVO DWG

ÍNDICE GENERAL

PGE	01	IG	ÍNDICE GENERAL DE PLANOS	rev_A	PGE - 01 - IG - rev_A .dwg
PGE	02	IG	SIMBOLOGÍA DE PROYECTO	rev_A	PGE - 02 - IG - rev_A .dwg

PLANIMETRÍA Y LOCALIZACIÓN

PGE	03	PL	MENSURA	rev_A	PGE - 03 - PL - rev_A .dwg
PGE	04	PL	PLANIMETRÍA	rev_A	PGE - 04 - PL - rev_A .dwg

ARQUITECTURA

PGE	05	ARQ	PLANTA GENERAL	rev_A	PGE - 05 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	06	ARQ	PLANTA GENERAL EDIFICIOS ALA OESTE	rev_A	PGE - 06 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	07	ARQ	PLANTA GENERAL EDIFICIO ALA ESTE	rev_A	PGE - 07 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	08	ARQ	PLANTA DE TECHOS	rev_A	PGE - 08 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	09	ARQ	CORTES	rev_A	PGE - 09 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	10	ARQ	VISTAS	rev_A	PGE - 10 - ARQ - rev_A .dwg
PGE	11	ARQ	CERCO PERIMETRAL Y PORTAL DE ACCESO	rev_A	PGE - 11 - ARQ - rev_A .dwg

ESTRUCTURA

PGE	12	EST	ESTRUCTURA NAVE I (1-2)	rev_A	PGE - 12 - EST - rev_A .dwg
PGE	13	EST	ESTRUCTURA NAVE I (2-2)	rev_A	PGE - 13 - EST - rev_A .dwg
PGE	14	EST	ESTRUCTURA NAVE II (1-3)	rev_A	PGE - 14 - EST - rev_A .dwg
PGE	15	EST	ESTRUCTURA NAVE II (2-3)	rev_A	PGE - 15 - EST - rev_A .dwg
PGE	16	EST	ESTRUCTURA NAVE II (3-3)	rev_A	PGE - 16 - EST - rev_A .dwg
PGE	17	EST	ESTRUCTURA ADMINISTRACIÓN	rev_A	PGE - 17 - EST - rev_A .dwg
PGE	18	EST	ESTRUCTURA BAÑOS Y VESTUARIOS	rev_A	PGE - 18 - EST - rev_A .dwg

VIALIDAD

PGE	19	VIAL	VIALIDAD, CAMINOS INTERNOS	rev_A	PGE - 19 - VIAL - rev_A .dwg
-----	----	------	----------------------------	-------	------------------------------

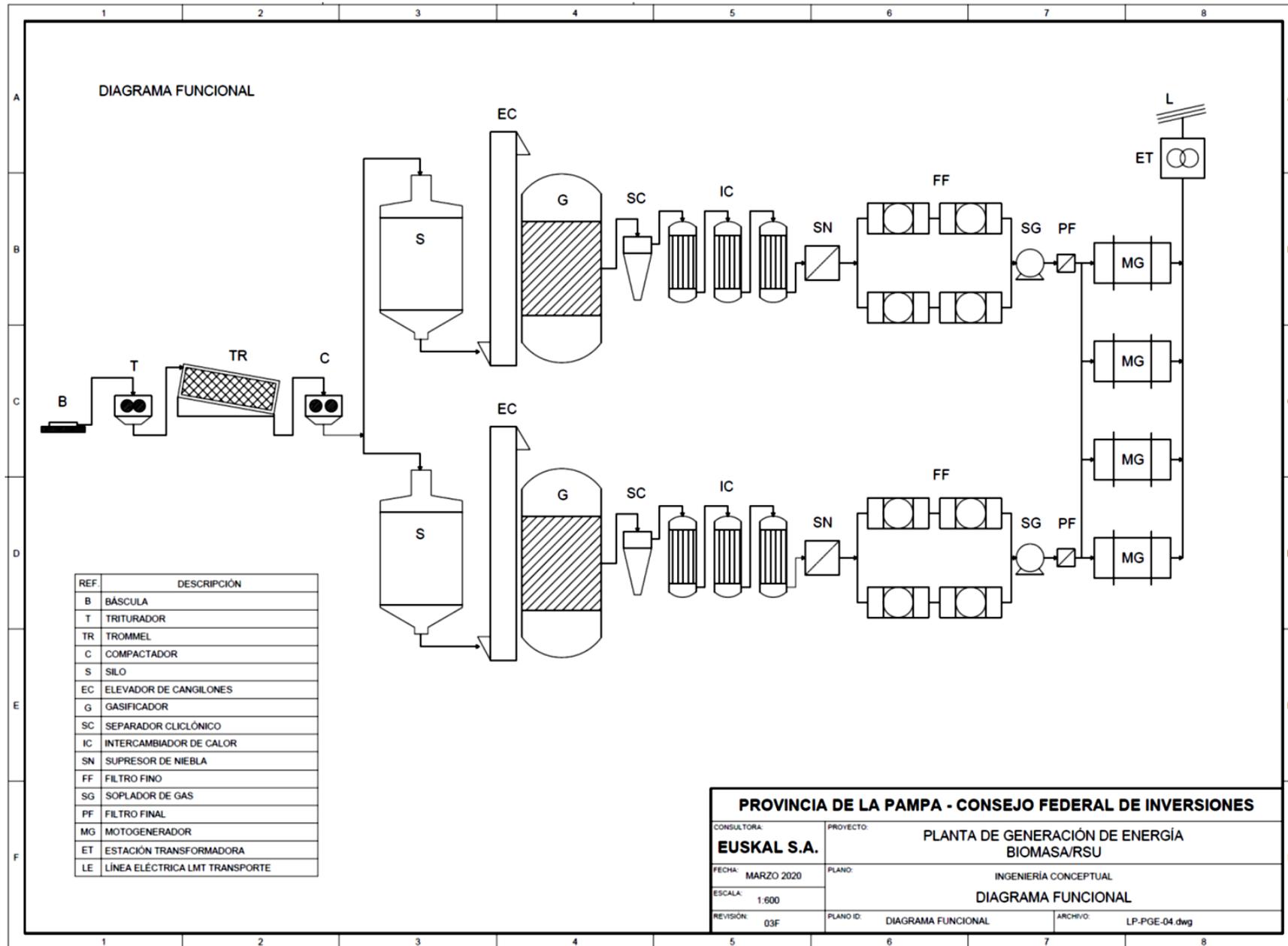
INSTALACIONES

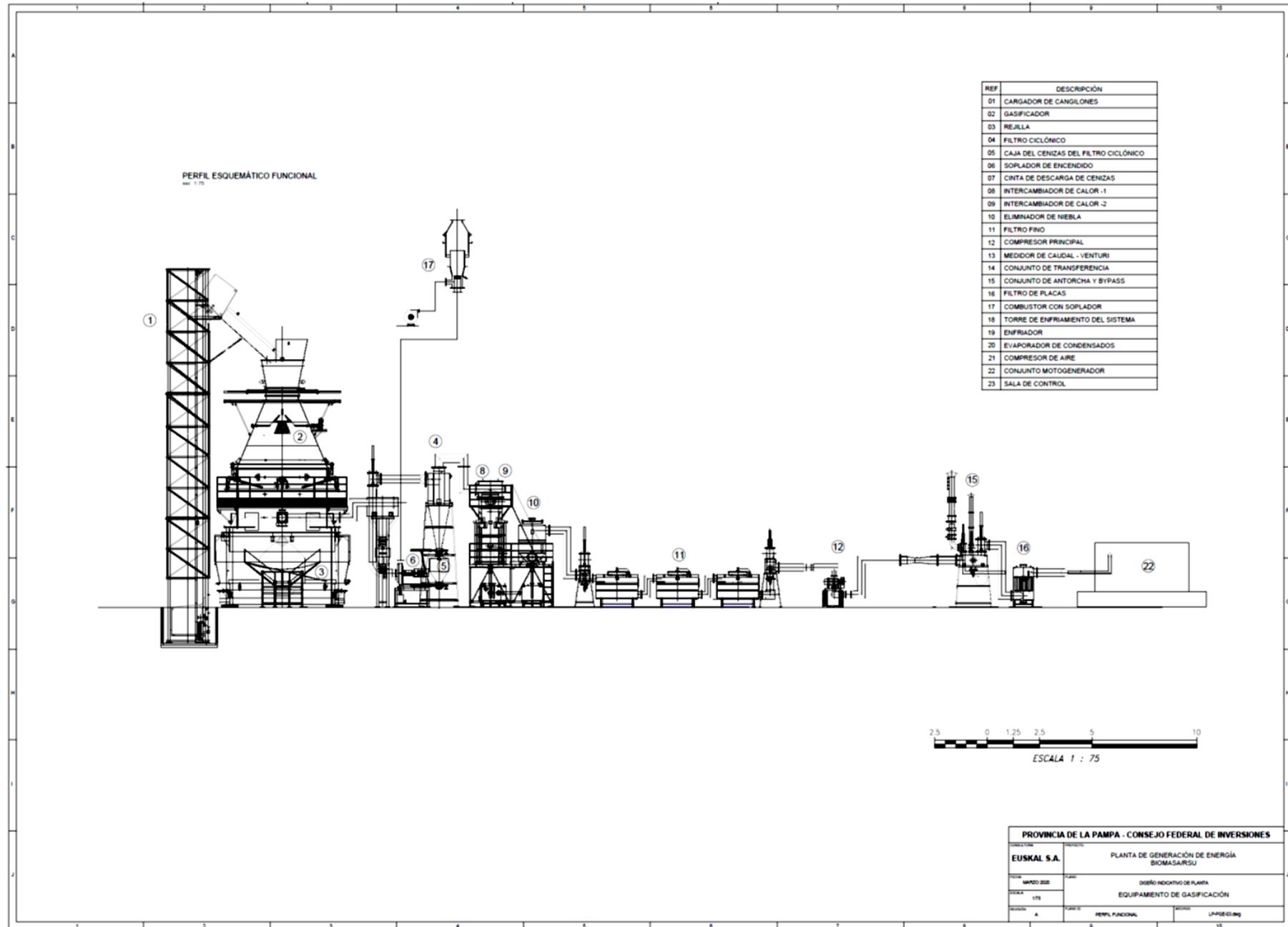
PGE	20	I_SA	INSTALACIONES SANITARIAS	rev_A	PGE - 20 - I_SA - rev_A .dwg
PGE	21	I_EX	INSTALACIÓN FIJA EXTINCIÓN DE INCENDIO	rev_A	PGE - 21 - I_EX - rev_A .dwg
PGE	22	I_BT	RED ELÉCTRICA BAJA TENSIÓN	rev_A	PGE - 22 - I_BT - rev_A .dwg
PGE	23	I_MT	RED ELÉCTRICA MEDIA TENSIÓN	rev_A	PGE - 23 - I_MT - rev_A .dwg
PGE	24	I_DP	DESAGÜES PLUVIALES	rev_A	PGE - 24 - I_DP - rev_A .dwg

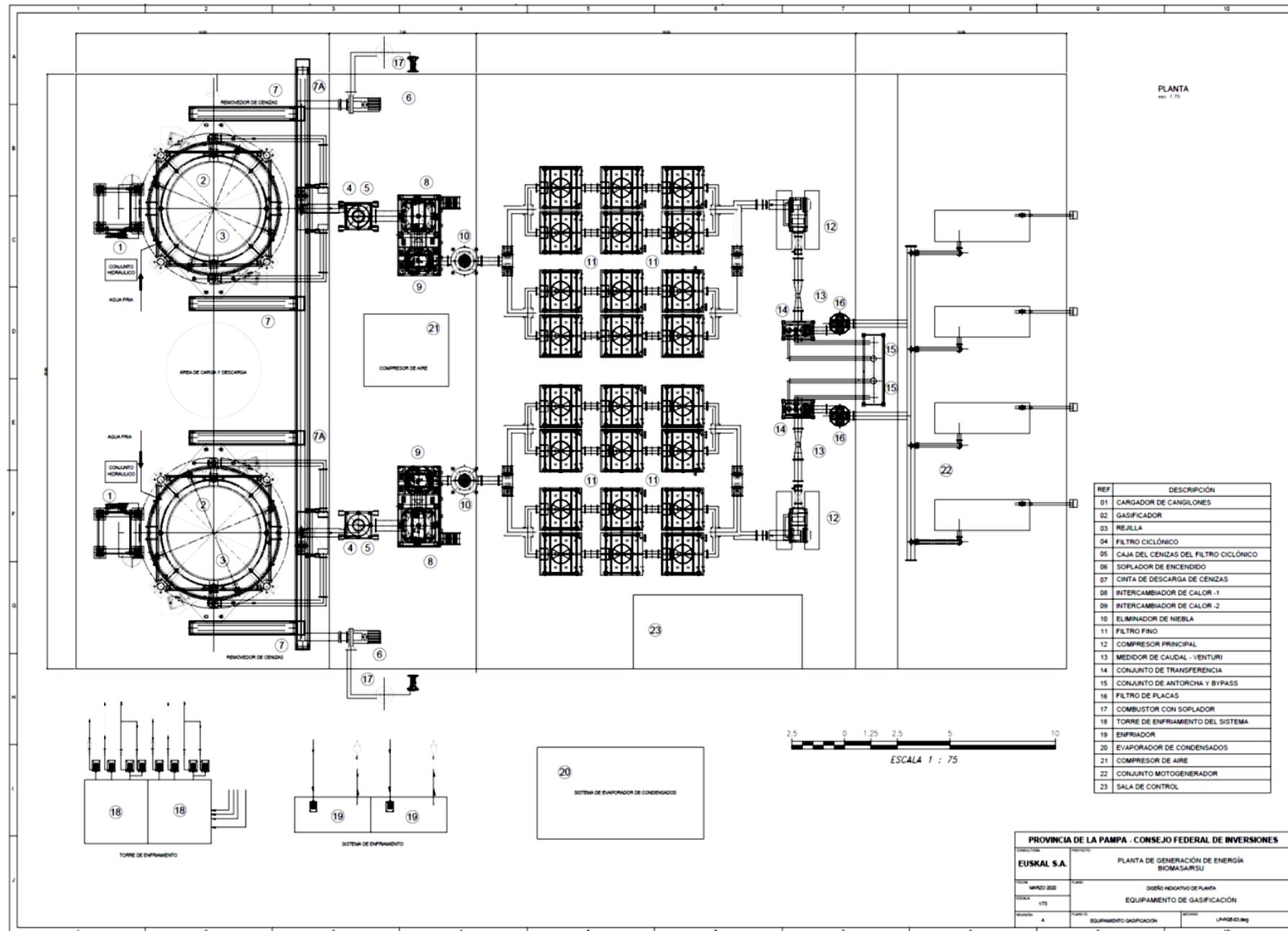
EQUIPAMIENTO

PGE	25	EQ	EQUIPAMIENTO, DIAGRAMA FUNCIONAL	rev_A	PGE - 25 - EQ - rev_A .dwg
-----	----	----	----------------------------------	-------	----------------------------

En las siguientes figuras se indican las miniaturas de los planos de referencia del sistema y equipamiento







5.2 PRETRATAMIENTO

La materia prima que constituye el insumo primario de esta planta, está formada por el material de rechazo de las plantas de clasificación de residuos sólidos urbanos proyectadas para cubrir las necesidades de las microrregiones 1, 2, 6 y 7 de la provincia de La Pampa. Teniendo en cuenta que las proporciones entre los diferentes materiales que forman la materia prima de la planta, puede variar de forma sustancial en cada envío, se dotará a la nave destinada al pretratamiento una zona de almacenaje. De esta manera se intentará que la materia que pasa a proceso se mantenga lo más homogénea posible en términos de composición.

Esta materia prima será dosificada a un reactor donde se realizará la gasificación. La gasificación es un proceso térmico con baja aportación de oxígeno que se realiza en un reactor de lecho fijo tipo “downdraft” de flujo descendente, de tal forma que esta materia prima se descompone en una serie de sustancias que forman una mezcla de gases combustible. Para un buen funcionamiento de dicho reactor o gasificador, la materia prima se le debe dosificar en unas determinadas condiciones de tamaño y densidad, lo cual también formará parte del pretratamiento.

Para ello la materia prima llegará a la planta prensada y enfardada en cubos de aproximadamente $\frac{1}{2} \text{ m}^3$, con una densidad promedio de 800 kg/m^3 mediante camiones que serán pesados en una **Báscula (B)**. Una vez pesados los camiones se dirigen a la zona de recepción, donde el personal de planta se dispondrá a la recogida e inspección de la materia prima. Una vez aceptada (la materia prima que no sea aceptada será devuelta a su proveedor) se depositará a la zona de almacenaje distinguiendo su naturaleza, esto es, plástico, papel o madera; o bien por su presentación o forma, esto es, recipientes, films, bolsas, etc.

Posteriormente, y mediante un autoelevador, se trasladará la materia prima a la línea de pretratamiento, donde se procederá a su trituración, reducción de tamaño, secado y densificación y, a su vez, a la eliminación de los inertes que contenga. Para esto, la materia prima será alimentada mediante cinta transportadora a un **Triturador (T)**, que reducirá el tamaño del material en trozos de 20x20 cm, como máximo. A la salida de este triturador un **Tromel (TR)** de cribado (conducto rotativo, con orificios de un diámetro determinado, cuya función es separar los trozos de materia prima más finos) con criba de 2x2 cm separará las partículas más finas, que en su mayoría son los inertes (áridos). Los inertes separados en el tromel serán recogidos en contenedores para su transporte al relleno sanitario.

Adicionalmente una corriente de aire caliente reducirá la humedad del material a su paso por el tromel hasta un valor menor al 20% de humedad en base seca.

El material a la salida del tromel es capturado por una tolva y elevado mediante una cinta transportadora hasta un **Compactador (C)** que tiene la función de incrementar la densidad del material triturado y procesado para su almacenamiento.

Una cinta transportadora cubierta traslada el material procesado a dos **Silos (S)** de almacenamiento con capacidad para 24 hs de funcionamiento de los gasificadores.

5.3 DOSIFICACIÓN DE CARGA DE LOS GASIFICADORES

El material procesado y almacenado en ambos silos es dosificado para alimentar los **Gasificadores (G)** mediante cintas transportadoras y **Elevadores de Cangilones (EC)**

5.4 PROCESO DE GASIFICACIÓN

La materia prima, introducida en el reactor, sufrirá una descomposición térmica, después de una serie de reacciones que derivará en una corriente de gases a con arrastre de partículas sólidas que abandonará el reactor por su parte inferior. Dicha mezcla de gases recibe el nombre de Gas de Síntesis, el cual después de una serie de tratamientos, será utilizable por motores industriales de bajo PCI.

El **Gasificador (G)** realiza las funciones de gasificación y producción de Syngas. En la parte superior posee una tolva de carga donde se vuelca la Biomasa/RSU trasladada por el elevador de cangilones que asegura una alimentación continua. En su estructura posee motores vibradores para asegurar un flujo uniforme de biomasa, sensores de temperatura, presión y nivel.

5.5 TRATAMIENTO DEL GAS DE SÍNTESIS

El tratamiento del gas de síntesis para su utilización como combustible de motores de combustión interna sigue el siguiente proceso:

Separador ciclónico (SC): se encuentra conectado a la salida del gasificador. Allí, por acción de la fuerza centrífuga, las partículas de carbono del gas caliente se depositan al pasar a través del ciclón y se extraen por la parte inferior. Constituye también la etapa de preenfriado del gas. El equipo cuenta con sensores de temperatura y presión.

Intercambiadores de calor (IC): A continuación el gas pasa a los intercambiadores donde se enfría y se condensa la mayor parte de la humedad contenida en el mismo.

El enfriamiento se realiza en dos etapas. En el primer intercambiador se alimenta con agua fría proveniente de la **torre de enfriamiento** que circula a través de los tubos de intercambio en contracorriente con el gas. El condensado se extrae por la parte inferior del equipo y se envía al colector.

En la segunda etapa, el agua de enfriamiento proviene de un enfriador de circuito cerrado (**Chiller**). Este equipo también cuenta con drenaje inferior de líquidos conectado al colector.

Los equipos que integran el intercambiador de calor cuentan con sensores de temperatura y presión del gas y el agua de refrigeración, la que también cuenta con control de caudal.

Separador de nieblas (SN): Elimina la neblina presente en el Syngas después del intercambiador de calor y antes del filtro fino. En su composición consta de material apropiado para la retención de la niebla. En la parte inferior de su estructura, hay una salida para retirar el condensado y una tubería de drenaje que se conecta con el colector.

Filtros finos (FF): A partir de su funcionamiento, las partículas finas de carbón presentes en el Syngas quedan atrapadas en el medio filtrante; por lo que deben limpiarse anualmente, lo cual puede realizarse con facilidad removiendo la totalidad del material. En su instalación cuentan con sensores de presión.

Filtro final (PF): Realiza la función de limpieza final del Syngas y también actúa como control y eventual bloqueo del flujo de gas en caso de que el gas esté sucio. De igual modo, se encuentra equipado con sensores de presión para evaluación de estado.

Soplador de gas (SG): Aspira el gas del gasificador, los filtros y separadores, situados aguas arriba del soplador y lo impulsa a través del Filtro Final hacia los motogeneradores. Es el equipo utilizado para el movimiento del gas en todo el circuito de gasificación y limpieza.

5.6 GENERACIÓN Y TRANSFORMACIÓN

El gas impulsado por el soplador ingresa a los **Motogeneradores (MG)** por la admisión de los motores donde se produce la combustión por explosión que induce el giro del motor, potencia que transmite al generador acoplado que transfiere la energía eléctrica a la red.

La energía generada por los motogeneradores ingresa a la **Estación Transformadora (ET)** donde la tensión de generación es elevada hasta la tensión de transporte (33KV) para luego ingresar al sistema interconectado.

5.7 SISTEMA DE CONTROL

El conjunto de la Planta es controlada y monitoreada por un controlador inteligente tipo PLC SCADA integrado en un solo bloque dentro de un contenedor

5.8 SISTEMAS AUXILIARES

El funcionamiento de la Planta requiere de la instalación y funcionamiento de los siguientes sistemas auxiliares.

Evaporador de condensados: Se utiliza para evaporar el agua acumulada en el tanque colector de los intercambiadores de calor y el separador de nieblas. De esta manera, se evita que el agua contaminada por la impurezas del gas sea un efluente de la instalación, debido a que la misma se separará como vapor de agua que saldrá por la boca superior del evaporador, mientras que el concentrado de impurezas, (que para esta potencia de generación no representa una cantidad significativa) será extraída por la parte inferior del evaporador. La alimentación de gas para la combustión dentro del evaporador se hará mediante una derivación de la tubería de gas aguas arriba del filtro final, el consumo de esta estación fue considerado en el balance general de la potencia de generación.

Colector: Tanque de recolección de los condensados provenientes del gas al pasar por intercambiadores de calor y el separador de nieblas.

Torre de enfriamiento: Contribuye al enfriamiento del gas en la primera etapa de los intercambiadores de calor con bomba de recirculación propia. Se trata de un sistema convencional con refrigeración de tiro forzado a través de lluvia de agua de refrigeración, con carga y reposición externa de agua. La torre se calcula teniendo en cuenta las condiciones climáticas del sitio.

Chiller: Enfriador de tipo industrial para alimentación de agua fría para enfriar el gas en el intercambiador de calor. Trabaja en circuito cerrado con bomba de recirculación propia y se alimentará en forma independiente con compensación de pérdidas.

Sistema de arranque: Consiste en un soplador caliente, una chimenea de venteo del gas producido durante el arranque y un sistema de encendido para el gas generado durante el encendido del generador.

Su función es canalizar el gas por esta vía alternativa hasta que el mismo alcance las condiciones de operabilidad demandadas por el sistema de filtrado y el motor del generador. Contiene un extractor para los lodos de carbón generados por el primer encendido.

Antorcha principal de venteo: El sistema posee una antorcha provista por un sistema de encendido para quemar el gas durante el proceso de regulación del motogenerador que actúa como dispositivo de seguridad en caso de rechazo de carga.

Medidor de flujo Venturi : Se usa para medir el flujo de Syngas.

Sensor de monóxido de carbono: Controla la presencia de monóxido de carbono en la zona de venteo próxima a la antorcha principal.

Cajas de conexión: El sistema posee cajas de conexión y derivación de gas. La primera para controlar la derivación al sistema de arranque o al sistema de generación y la segunda para controlar la derivación a la antorcha principal o al motogenerador.

Panel de Control: El sistema incluye un panel de control centralizado para el comando y control de toda la planta de generación.

Compresor de aire y unidades hidráulicas: Empleados para el comando de electroválvulas.

6 MEMORIA DE CÁLCULO – SISTEMA Y EQUIPAMIENTO

6.1 ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL AL INGRESO DE LA PLANTA

En el siguiente cuadro se indican las especificaciones para la recepción del material de rechazo de RSU en el ingreso a la planta.

El material que no cumpla con dichas especificaciones será devuelto al generador.

Tabla 13: Especificaciones del material al ingreso de la Planta

Ítem	Parámetro	Especificación
1	Contenedor - formato	Material enfardado
2	Volumen aproximado del fardo	0.5 m ³
3	Densidad aproximada del fardo prensado	800 kg/m ³
4	Contenido de material orgánico	<10%
5	Contenido de PVC	Libre de PVC
6	Contenido de metales	Libre de metales
7	Contenido de áridos	<5%
8	Contenido de humedad	<30% (base húmeda)

6.2 ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL AL INGRESO DE LOS GASIFICADORES

En el siguiente cuadro se indican las especificaciones del material al ingreso de los gasificadores, luego de haber sido procesados y acondicionados.

Ítem	Parámetro	Especificación
1	Tipo de material combustible	Rechazo de RSU
2	Dimensiones mínimas	15 x 15 x 10 mm
3	Dimensiones máximas	25 x 25 x 10 mm.
4	Finos permitidos	<5%
5	Contenido de humedad permisible	5 a 20% (base húmeda)
6	Consumo nominal por hora (por gasificador)	1250 kg/h
7	Cantidad de gasificadores	2 unidades
8	Consumo nominal total por hora	2500 kg/h
9	Poder calorífico inferior (PCI) del material	3000 kcal/kg

6.3 ESPECIFICACIONES DEL GAS PRODUCIDO

En la siguiente tabla se indican las especificaciones del gas a producir en la planta. Las características se corresponden con las necesarias para alimentar motores tipo Cummins GTA 1710G.

Tabla 14: Especificaciones del gas de síntesis

Especificaciones del gas de síntesis	Unidad	Min	Max
Monóxido de carbono CO	Vol %	15	21
Hidrogeno H2	Vol %	15	18
Metano	Vol %	1.5	3
Nitrógeno	Vol %	48	54
Oxígeno	Vol %	0	0.5
Otros	Vol %	6	8
Contenido de TAR	Mg / m ³	2	10
Contenido de partículas	Mg / m ³	2	10
Humedad relativa	%	80	90
Presión al ingreso del motor	mbar	100 mmwc	600 mmwc
Variación de presión	%	50	15

6.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA

En la siguiente tabla se calculan los requerimientos de potencia involucrados en el proceso de generación.

Operación	Parámetro	Unidad	Valor
a	Material RSU - Caudal de partida	kg/día	60 000.0
b=a/86400	Material RSU - Caudal de partida	kg/s	0.69
c	Poder calorífico inferior (PCI) del Material RSU	kcal/kg	3 000.00
d	Factor de conversión kcal-MJ		0.0042
e=c*d	Poder calorífico inferior del combustible	MJ/kg	12.56
f=b*e	Potencia del combustible	MW	8.72
g	Rendimiento del gasificador	%	75%
h	Rendimiento del motor	%	30%
i	Rendimiento unión Generador motor	%	90%
j	Rendimiento del generador	%	90%
k=f*g*h*i*j	Capacidad de generación	MW	1.58968
l	Potencia objetivo de generación	MW	1.20
m=(k/l)-1	Margen de seguridad	%	32%

6.5 CONSUMOS

6.5.1 Consumo de energía

El consumo total de energía eléctrica de la planta de generación de energía y la planta de procesamiento de RSU es de 200 kw.

6.5.2 Consumo de agua

El consumo de agua de proceso de la planta de generación de energía es de 4,5 m³/día.

6.6 GENERACIÓN DE CENIZAS

En la siguiente tabla se calcula la generación diaria de cenizas extraídas del gasificador.

Operación	Parámetro	Unidad	Especificación
a	Material gasificado	kg/día	60 000
b	Tasa de generación de ceniza	%	7%
c=a*b	Generación de ceniza	kg/día	4 200
d	Peso específico de las cenizas a granel	kg/m ³	1 175
e=c/d	Volumen de cenizas generadas	m ³ /día	3.57

Las cenizas extraídas tendrán aproximadamente las siguientes características fisicoquímicas, obtenidas de dos muestras de gasificación de RSU realizada por Ankur Scientific Energy Technologies.

Tabla 15: Características físico química de las cenizas

Parámetro	Unidad	Muestra 1	Muestra 2
Contenido de humedad en base húmeda	%	52.75	53.78
Ceniza, % en base seca	%	69.84	66.04
Volátil, % en base seca	%	8.34	7.98
Carbón fijo, % en base seca	%	21.82	25.98
Tamaño en mm			
Arriba de 17	%	22.14	
Entre 10 y 17	%	5.91	
Entre 5 y 10	%	8.28	
Debajo de 5	%	63.67	
Densidad	kg/m ³	1175	
Valor calorífico, HHV en base seca	kcal/kg	2026	2372

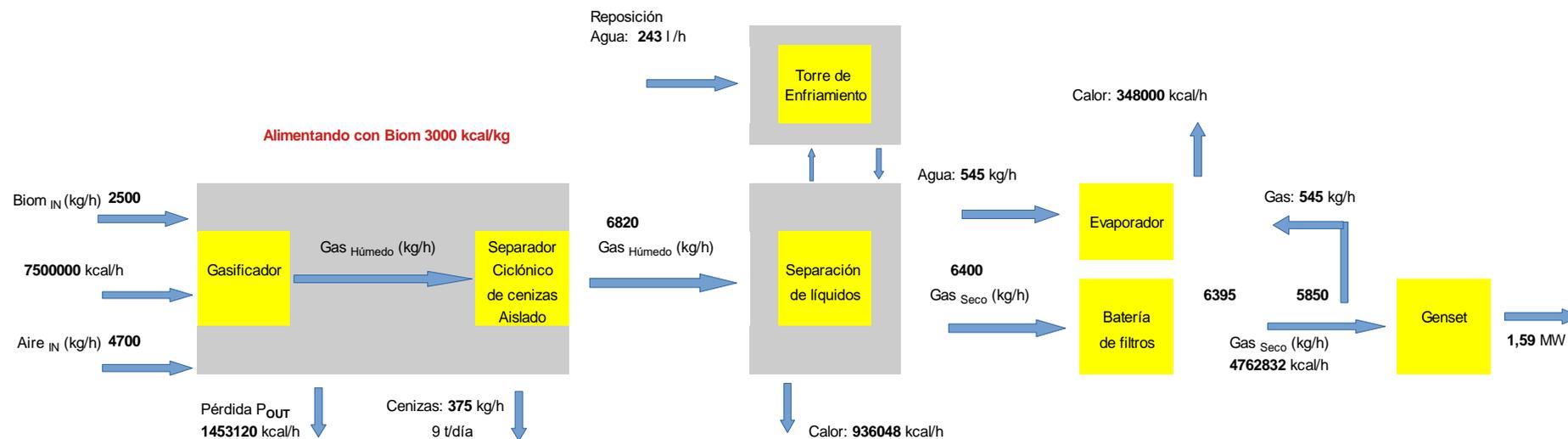
Tabla 16: vista de muestra de ceniza secada al sol



6.7 BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

En el siguiente diagrama se desarrolla el balance de masa y energía correspondiente a la planta de generacion de energía.

Figura 18: Balance de masa y energia



6.8 EMISIONES

Las emisiones de la planta en operación permanente son las correspondientes a los gases de escape de los 4 equipos motogeneradores alimentados con el gas de producción.

En la siguiente tabla se indican las emisiones y las condiciones termomecánicas de los gases de escape.

Tabla 17: Parámetros básicos del motogenerador

Parámetros básicos del motogenerador	Unidad	Valor
Condición de carga del motogenerador	%	100
Caudal de gases de escape	Nm ³ / Hr	2 150
Temperatura de los gases de escape	°C	400
Diámetro del tubo de escape	mm	177
Altura del tubo de escape	m	10

Tabla 18: Composición de los gases de escape

Composición de los gases de escape	Unidad	Valor
NO (Óxido de nitrógeno)	mg/Nm ³	160
O ₂ (Oxígeno)	mg/Nm ³	21 500
CO ₂ (Dióxido de carbono)	mg/Nm ³	295 236
CO (monóxido de carbono)	mg/Nm ³	635
HC (hidrocarburos)	mg/Nm ³	50

Tabla 19: Caudal de emisiones por motogenerador

Caudal de emisiones por motogenerador	Unidad	Valor
NO (Óxido de nitrógeno)	g/s	0.10
O ₂ (Oxígeno)	g/s	12.84
CO ₂ (Dióxido de carbono)	g/s	176.32
CO (monóxido de carbono)	g/s	0.38
HC (hidrocarburos)	g/s	0.03

6.9 MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

En el presente apartado se modelizará la dispersión de los contaminantes atmosféricos de las emisiones producidas por los gases de escape de los 4 motogeneradores. La modelización se realizará mediante un modelo Gaussiano de dispersión se estimará la inmisión de cada contaminante en el área cercana a la planta de generación de energía.

La aplicación del modelo de dispersión previsto en el presente documento se encuentra orientada a la determinación de la magnitud del impacto que la implantación de la nueva Planta de generación de energía pueda presentar sobre la calidad atmosférica del entorno próximo a su ubicación.

Para el presente estudio se ha empleado un modelo tipo “screen” o de sondeo, que permita cuantificar la magnitud de la afección que sobre la calidad atmosférica pudiera provocar la implantación de la futura actividad.

El modelo de dispersión atmosférica SCREEN3 (EPA) se presenta como un modelo de pluma Gaussiana, que incorpora factores relacionados a la fuente emisora y factores de naturaleza meteorológica, para calcular la concentración de contaminantes de fuentes continuas.

Se trata de un modelo conservador, el cual calcula concentraciones discretas en base a parámetros base, obteniéndose los valores más desfavorables en cuanto a condiciones meteorológicas (temperatura atmosférica, velocidades de viento, etc.).

6.9.1 Normativa de referencia

A nivel nacional el marco legal de referencia en calidad de aire y valores límites para concentraciones atmosféricas de contaminantes específicos está establecido en las leyes N°:20.284 de Prevención de la Contaminación Atmosférica y N°:24.051 de Residuos Peligrosos, reglamentada mediante el decreto reglamentario N° 831/93.

La Ley Nacional N°20.284 (1973, “Prevención de la Contaminación Atmosférica”) establece, en su Anexo II, las siguientes niveles de contaminantes en aire (norma) y los umbrales de situaciones de alerta, alarma y emergencia.

Asimismo la resolución 13/97 “Guía práctica para la preparación de las evaluaciones de impacto ambiental atmosférico EIAA” establece los procedimientos y metodologías aplicables para el cálculo y modelización de dispersión y de concentraciones atmosféricas de contaminantes específicos.

6.9.2 Marco teórico

6.9.2.1 Atmósfera y Contaminantes

La atmósfera es la capa de gas que rodea a un cuerpo celeste, en el caso de la tierra está constituida principalmente por nitrógeno molecular (N_2) y oxígeno molecular (O_2), en proporciones aproximadas de 78% y 21%. El 1% está formado principalmente por argón, dióxido de carbono y otras especies en ínfimas cantidades llamadas trazas atmosféricas. Sin embargo, en los últimos siglos, la composición de la atmósfera se ha visto alterada por diversas actividades humanas, lo que ha provocado consecuencias sobre la calidad de vida de las personas, los ecosistemas en general y el sistema climático.

El aumento de la concentración en la troposfera (capa inferior de la atmósfera) de algunas trazas atmosféricas en algunas zonas del planeta, especialmente en las áreas urbanas, los efectos en la salud de la población y otros efectos sobre el medioambiente, han llevado a los gobiernos a realizar legislaciones para regular algunas trazas atmosféricas. Los contaminantes del aire pueden agruparse en dos categorías: los contaminantes primarios, que se emiten directamente a la atmósfera; y los contaminantes secundarios, que se forman en la atmósfera a partir de precursores primarios debido a reacciones químicas tales como hidrólisis, oxidación y reacciones fotoquímicas.

Los contaminantes primarios son un conjunto de trazas constituido por el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃), además de partículas totales en suspensión (PTS). Estos contaminantes no son los únicos existentes, pero sí son aquellos que internamente la gestión ambiental ha dado mayor atención, regulando sus concentraciones máximas permisibles en la atmósfera.

6.9.2.2 Detalle contaminantes primarios

El monóxido de carbono (CO) es un gas tóxico, incoloro, sin sabor ni olor. Se genera como producto de desecho en la combustión incompleta del carbón, madera, aceite y otros combustibles productos del petróleo (por ejemplo, gasolina, propano, etc.). El gas CO, aunque no tiene olor en sí, generalmente ocurre en combinación con otros gases producto de la combustión que sí tienen olores característicos. La fuente principal de gas CO son los motores de combustión interna. El gas CO también se genera en operaciones industriales tales como reparación de automóviles, refinación del petróleo y manufactura de acero y productos químicos.

El SO₂ es un gas incoloro e inodoro en bajas concentraciones, con un característico olor asfixiante cuando se encuentra en elevadas concentraciones. Se produce durante la combustión de combustible fósiles, que contengan azufre como son el carbón y el petróleo y en varios procesos industriales, como son la fundición de metales no ferrosos, y la conversión de pulpa en papel, entre otros.

Cuando el SO₂ y los oxidantes fotoquímicos presentes en la atmósfera reaccionan, se forma trióxido de azufre (o anhídrido sulfúrico), el que al combinarse con agua forma ácido sulfúrico y partículas sulfatadas. Esto contribuye a la formación de lluvia ácida y al aumento de los niveles de material particulado respirable.

El NO₂ es un gas de color marrón claro que se produce directa e indirectamente en la quema de combustibles fósiles a altas temperaturas en plantas termoeléctricas o vehículos. Este gas se combina con compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de luz solar para formar ozono, por lo que también es considerado precursor de smog fotoquímico.

El ozono es un gas que se forma mediante una serie de complejas reacciones, antes mencionadas, en la atmósfera. La concentración de ozono existente depende de varios factores, entre los que destacan la cantidad de NO₂, cantidad y tipo de COV, intensidad de la radiación solar y otras condiciones climáticas. Cabe destacar que el ozono producido naturalmente en la estratósfera (capa de ozono) cumple con la función de proteger a la tierra y sus seres vivos de las radiaciones ultravioletas provenientes del sol, por lo que su beneficio para la protección de la salud de las personas y el medio ambiente resulta indiscutible. El ozono que produce efectos nocivos es el que se encuentra al nivel de la tropósfera.

6.9.2.3 Dispersión atmosférica de contaminantes en el aire

La dispersión de contaminantes en la atmósfera sigue los mismos principios físicos de mezclado de otros fluidos como el agua en un río. Cuando una descarga vertical de aire caliente es

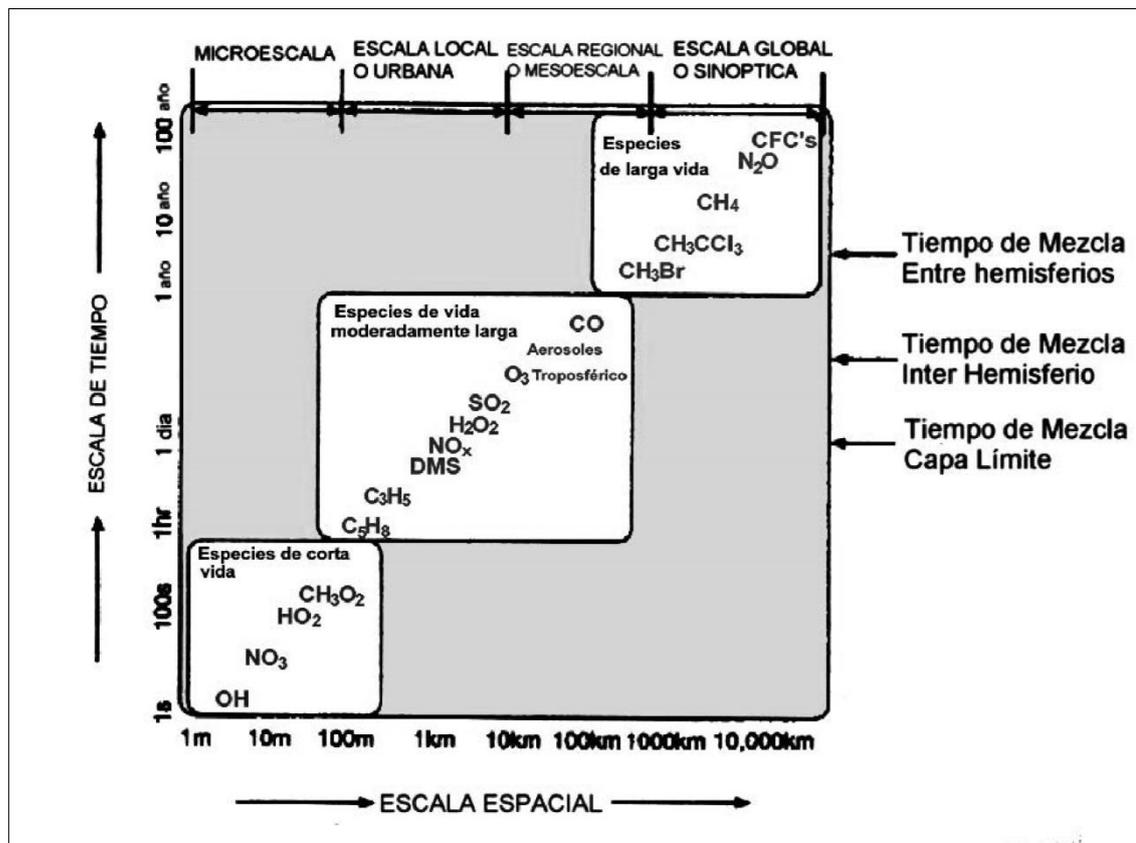
lanzada a la atmósfera libre donde existe un viento permanente, esta subirá primero y posteriormente viajará con el viento. Este proceso diluye los contaminantes y los aleja de la fuente. Al mismo tiempo que la pluma o penacho (descarga visible de contaminante) se desplaza desde la fuente, el proceso de mezcla atmosférico y turbulencia producen que la pluma se extienda o disperse en ambas direcciones (lateral y vertical). La difusión molecular juega un papel menor en la dispersión de contaminantes y generalmente no es considerado.

A la vez que la pluma se aleja de la fuente emisora (arrastrada por el viento), la altura final de la línea central de la pluma alcanza un valor basado en la flotación termal (debido a la temperatura de descarga) y al momentum (debido a la velocidad de la descarga vertical) de la descarga de la chimenea. Por lo tanto, una descarga alcanzará mayor altura si mayor es su temperatura, y una descarga con una velocidad inicial vertical alta subirá a mayor altura que una descarga con una velocidad inicial baja. Si la temperatura de la descarga es cercana a la temperatura del aire y su velocidad de descarga es muy baja (a menos de 2 m/s), la pluma no subirá significativamente por la punta de la chimenea.

El transporte de la pluma depende de la corriente de aire o viento, y la definición de viento requiere varios parámetros como su velocidad, dirección, altura del viento y el tiempo promediado. La velocidad y dirección del viento están normalmente medidas a una altura de diez metros sobre el nivel del terreno.

La dispersión de la pluma ocurre como resultado de la mezcla atmosférica y la turbulencia, que son el resultado de factores termales y mecánicos. La energía del sol es absorbida por la tierra y convertida en calor que se irradia entonces en los niveles más bajos de la atmósfera por conducción y convección creando remolinos térmicos y turbulencias. Generalmente, las condiciones más turbulentas ocurren durante los periodos de velocidad del viento de baja a moderada y con intensa radiación solar (tardes). Las condiciones atmosféricas sumamente estables ocurren durante las noches claras con poco viento y pueden mantener los contaminantes cerca de la tierra y en las cercanías de la fuente de descarga, produciendo concentraciones altas de contaminantes en la pluma. Las máximas concentraciones de contaminantes se localizarán en los límites del área abarcada y cercana a la fuente de descarga.

Figura 19: Variabilidad espacial y temporal de los constituyentes atmosféricos



Fuente: Adaptado de Brasseur, 1999.

6.9.2.4 Modelación atmosférica

Los modelos de dispersión atmosférica se utilizan para saber, entre otras cosas, cómo cambia en el tiempo y el espacio la concentración o la razón de mezcla de una sustancia o traza habitualmente identificada como un contaminante primario, a objeto de predecir y analizar la calidad del aire y de esta forma colaborar en las decisiones políticas y de planificación respecto a la gestión, mediante el desarrollo de planes, programas, proyectos y normas de emisión o calidad del aire, como así también el análisis del impacto de proyectos específicos sobre la atmósfera. Este cambio, puede ser descrito por la ecuación de continuidad (modelo conceptual) que expresa el balance entre las variaciones de la concentración de una traza y el efecto de flujos de transporte, fuentes y sumideros.

La concentración de la pluma en un punto cambia por la convergencia o divergencia de vientos, por fuentes, transformaciones físicas y químicas, emisiones, remoción por lluvia, etc. La ecuación general que los modelos de dispersión resuelven, es la ecuación (A)

$$\frac{\delta c}{\delta t} = -c \nabla \cdot \vec{v} - \vec{v} \cdot \nabla c - \nabla \cdot (\langle c' \vec{v}' \rangle) + Q - S; \quad CB, CI$$

donde:

c = concentración [kg/m³]

v = vector de velocidad del viento [m/s]

V = variación respecto del espacio (tres dimensiones independientes)

dc = variación local de la concentración promedio de una traza respecto del t tiempo

$v \cdot Vc$ = advección de masa por efecto del viento promedio

$V \cdot \langle c' v' \rangle$ = divergencia del flujo turbulento de traza ($\langle \rangle$ denota promedio y fluctuaciones en torno al promedio)

Q = fuentes [$\text{kg}/\text{m}^3\text{s}$]

S = sumideros

CB, CI = condiciones de borde iniciales

Los modelos de dispersión, contienen o se comunican con otros modelos y/o bases de datos. Normalmente, contienen un módulo químico que representa los procesos de transformación química y de fase, como por ejemplo, la formación de aerosoles. También existe un módulo meteorológico que entrega los campos de vientos, temperatura, humedad, etc., necesarios para resolver la ecuación de continuidad de la traza. Un tercer módulo principal resuelve los aspectos relativos a los múltiples y complejos procesos de transporte (advección, convección, turbulencia, etc.). Por supuesto, todos estos módulos están conectados con bases de datos, por ejemplo, el inventario de emisiones y la topografía y uso del suelo de la zona. El conjunto de estos módulos se conecta con el no menos complejo proceso de gestión y apoyo a la toma de decisiones.

6.9.2.5 Tipos de modelos

Los modelos de dispersión son herramientas computacionales que resuelven la ecuación de continuidad descrita con anterioridad utilizando diversos métodos y aproximaciones. En el esfuerzo de predecir las concentraciones de contaminantes en un punto alejado del foco emisor y resolver la ecuación de continuidad, se han desarrollado varios tipos de modelos matemáticos para estimar la calidad del aire. Entre éstos se incluyen, modelos gaussianos, urbanos, regionales y globales.

6.9.2.6 Modelos gaussianos

Los modelos gaussianos son de uso común en problemas de dispersión contaminantes no reactivos de fuentes puntuales tales como chimeneas industriales. Básicamente suponen que la pluma de un efluente presenta una distribución normal o de Gauss (Gaussiana) de las concentraciones en torno al eje de simetría definido por la dirección del viento.

Cabe destacar que estos modelos son aptos para estimar efectos locales y que su grado de precisión y acierto es en general, decreciente en tanto se aplican en localidades con relieve complejo y caracterizado por circulaciones atmosféricas complejas.

6.9.2.7 Modelos urbanos y regionales

Los modelos de escala urbana y regional usualmente están, orientados a ser herramientas de gestión de calidad del aire. Los problemas de escala urbana y regional son complejos pues hay que considerar los efectos de múltiples fuentes, contaminantes primarios y secundarios, procesos de deposición y meteorología local y regional. Eso requiere la integración de modelos y bases de datos.

Los aspectos meteorológicos son tratados a través de modelos meteorológicos de diagnóstico o pronóstico. En los primeros se estiman los campos de viento a partir de datos meteorológicos de superficie y de altura, recopilados desde estaciones de monitoreo utilizando métodos que buscan una interpolación y extrapolación óptima de las observaciones. En los segundos, se calculan los parámetros meteorológicos a partir de las ecuaciones que describen las relaciones físicas fundamentales del movimiento y la energía en el aire. El desarrollo actual de los esfuerzos de modelación de procesos

atmosféricos tiende a integrar ambos tipos de modelos a través de las técnicas conocidas como asimilación de datos.

Un problema común de los centros urbanos es la acumulación de precursores de oxidantes, por ejemplo ozono, y de material particulado. Existe una amplia gama de modelos fotoquímicos comparables en cuanto a sus capacidades de reproducir estas observaciones.

6.9.2.8 Modelos globales

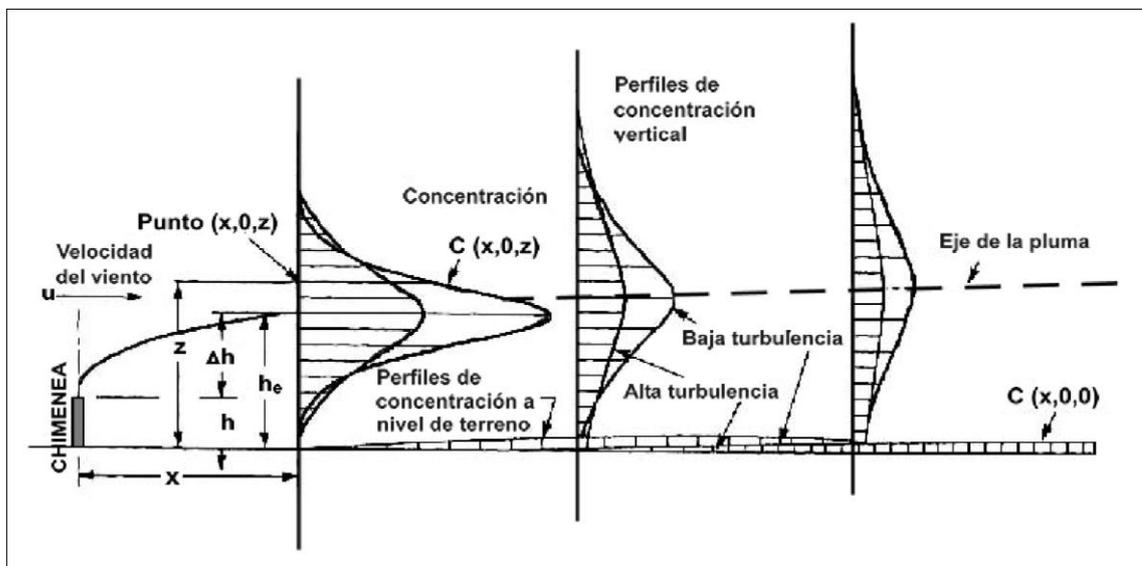
Los modelos globales resuelven la ecuación de continuidad para toda la atmósfera. Estos modelos, al igual que los modelos locales y regionales, han ido creciendo en complejidad en la medida que más variables y trazas con tiempos de recambio más cortos han sido incorporadas en ellos y el desarrollo de computadores más rápidos lo han hecho factible.

6.9.2.9 Modelo Gaussiano de dispersión

El Modelo Gaussiano de dispersión describe a través de una fórmula simple el campo tridimensional de concentraciones generado por una fuente puntual en condiciones meteorológicas y de emisión estacionarias.

A medida que una pluma de contaminantes progresa en la dirección del viento, el modelo gaussiano supone que el perfil de concentración por mezcla turbulenta adquiere una distribución gaussiana. Si la condición atmosférica es neutra, entonces se desarrollará una pluma en forma de cono. La concentración en la línea central de la pluma será máxima a una distancia cercana del foco emisor y disminuirá en la dirección viento abajo. A medida que la distancia viento abajo aumenta, los extremos de la pluma pueden impactar sobre el terreno tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 20: Progresión de la pluma en base a las turbulencias y parámetros de dispersión



Referencia: Kiely, 1999.

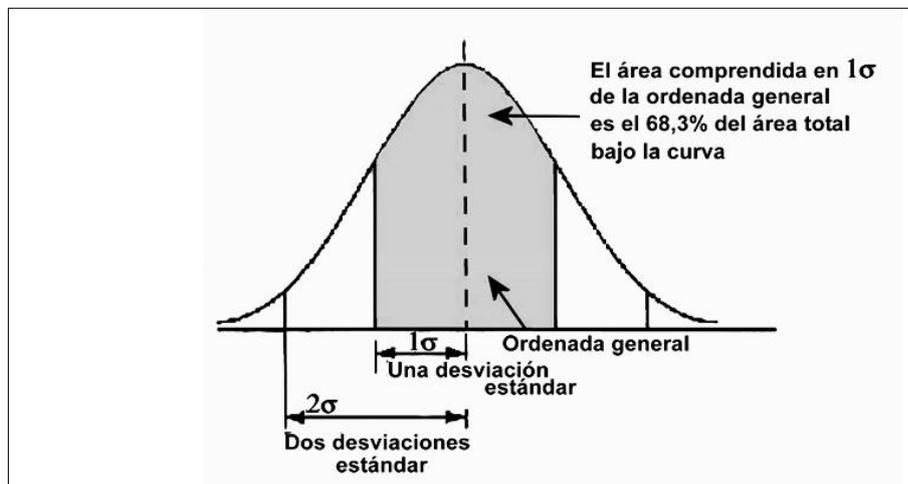
La concentración de un contaminante en cualquier punto es tal que:

$$C(x, y, z) \propto \frac{1}{U} Q G \quad (\text{B})$$

Donde U es la rapidez del viento, Q es la tasa de emisión y G es la curva de Gauss normalizada en el plano, esto es, el plano perpendicular a la dirección del viento, x .

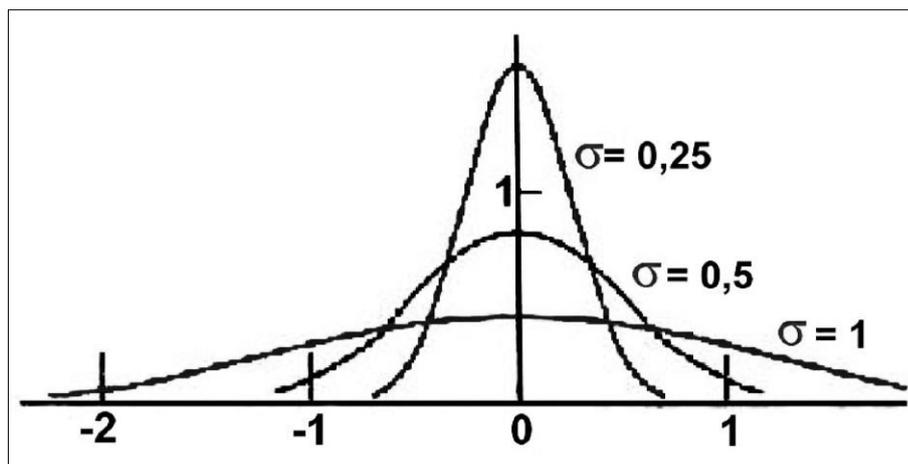
La siguiente figura representa la curva normal (gaussiana), empleada para caracterizar un proceso estocástico. La altura central en el eje de ordenadas se denomina "media" y el ancho de la curva se describe como desviación estándar. A medida que la distancia viento abajo se incrementa, la concentración máxima en la línea central disminuye ya que la pluma se ensancha en las direcciones z e y . En la Figura 7, se muestra cómo el valor aumenta a medida que la distancia a partir del foco emisor aumenta.

Figura 21: Curva de Distribución Gaussiana



Referencia: Kiely, 1999

Figura 22: Variación de V



Referencia: Kiely, 1999

La distribución de Gauss en la dirección lateral se describe por la expresión:

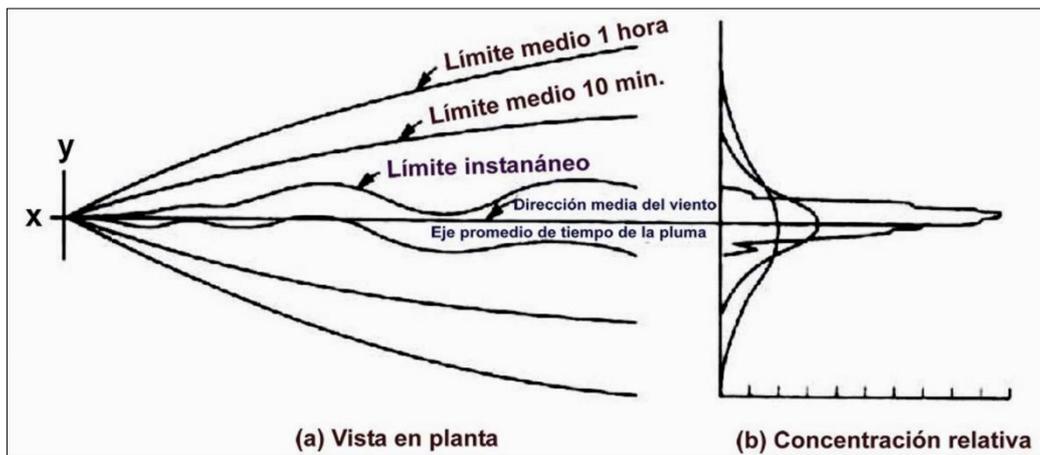
$$G_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]} \quad \text{(C)}$$

Análogamente en el eje Z

$$G_z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{\sigma_z}\right)^2\right]} \quad \text{(D)}$$

En la siguiente figura (izquierda) se grafica la evolución de la pluma en tiempos diferentes. En cualquier instante, la pluma presenta un contorno serpenteante. A los 10 minutos o 1 hora, el contorno se extiende y con él la concentración de la línea central disminuye, tal y como se muestra en la gráfica siguiente (izquierda).

Figura 23: Cambios en la pluma respecto al tiempo transcurrido



Referencia: Kiely, 1999

La pluma gaussiana que es transportada en la dirección positiva del eje x puede ser expresada, en general como:

$$c = \frac{Q}{2\pi\sigma_h\sigma_z|\bar{u}|} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta_{cw}}{\sigma_h}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z_s + \Delta h - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad \text{(E)}$$

donde $c(s, r)$ es la concentración en $r = (x_r, y_r, z_r)$ debido a las emisiones en $s = (x_s, y_s, z_s)$; Q es la tasa de emisión; $\sigma_h(jh, d)$ y $\sigma_z(jz, d)$ son la desviación estándar (horizontal y vertical, respectivamente) de la distribución espacial de la concentración de la pluma (σ_h también se escribe como σ_y); jh y jz son los estados de turbulencia vertical y horizontal; d es la distancia viento abajo desde la fuente al receptor, donde:

$$d = \frac{|(r-s)\bar{u}|}{|\bar{u}|} \quad (\text{F})$$

u es la rapidez promedio del vector a la altura de la emisión (suponiendo que $u_z \ll (|r-s|^2 - d^2)^{1/2}$); Δ_{cw} es la distancia a lo largo del viento de la fuente y el receptor (entre el receptor y la línea central de la pluma), donde:

$$\Delta_{cw} = \left(|r-s|^2 - d^2 \right)^{1/2} \quad (\text{G})$$

y Δh es la elevación de la pluma por sobre la chimenea, que es una función de los parámetros de la emisión, condiciones meteorológicas y la distancia viento abajo d . La Ecuación (E) es aplicable para $d > 0$; si $d < 0$, entonces $c=0$.

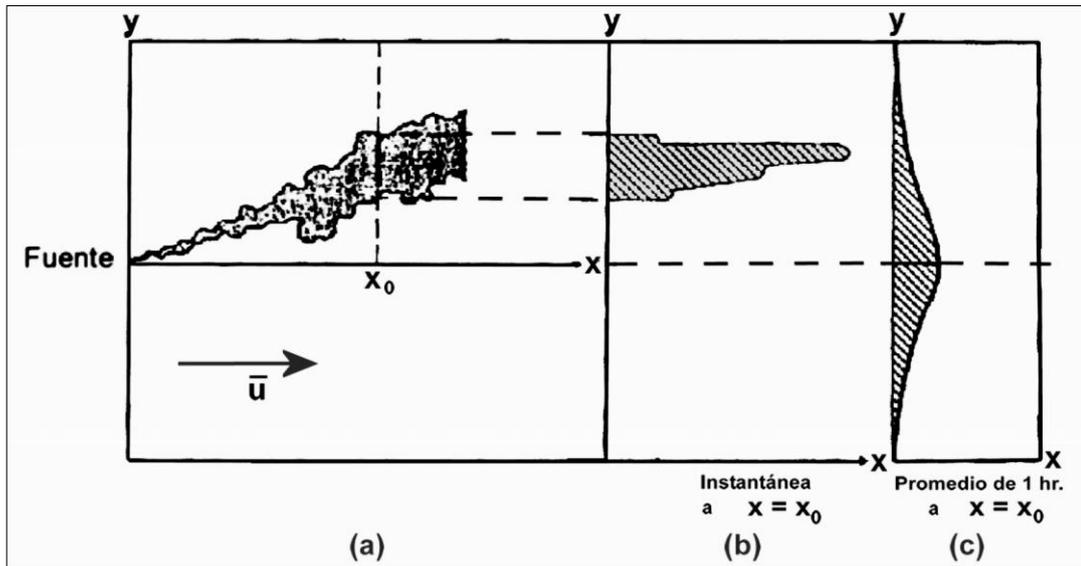
Como puede observarse, la ecuación (E) está referida a estado estacionario, utiliza condiciones meteorológicas (viento y estados de turbulencia) que requieren ser consideradas homogéneas y estacionarias en el área modelada (es decir, entre r y s) y no opera en condiciones de calma cuando la rapidez tiende a cero. Sin embargo, la simplicidad de la aproximación gaussiana, la hacen sencilla de usar con parámetros meteorológicos fáciles de medir. Por otra parte gracias al nivel determinante que esta metodología tiene en la toma de decisiones, ha estimulado el desarrollo de investigaciones con el propósito de eliminar algunas de las limitaciones de la teoría gaussiana en el tratamiento de las situaciones complejas que se presentan en el mundo real.

La ecuación (E) es generalmente escrita de la forma:

$$c = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z|\bar{u}|} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y_r}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{h_e - z_r}{\sigma_z}\right)^2\right] \quad (\text{H})$$

donde u es la rapidez media del viento, h_e es la altura efectiva de la emisión (es decir $h_e = h_s + h$) y σ reemplaza a σ_h , utilizando un sistema de coordenadas cartesianas cuyo eje x está orientado en la dirección del viento. La ecuación (H) se puede obtener de varias formas a partir de algunos supuestos y justificada a través de consideraciones semi-empíricas. Como puede observarse en la siguiente, donde se ejemplifica la distribución instantánea de concentraciones y promedios horarios.

Figura 24: Perfiles instantáneos, horizontales y promedios horarios de la concentración de la pluma



Referencia: Traducido de Zanetti, 1990

donde:

- a) es la vista instantánea de una pluma
- b) es el perfil horizontal instantáneo de la concentración de una pluma a lo largo de la dirección transversal a cierta distancia, viento debajo de la fuente emisora.
- c) Promedio horario del perfil a la misma distancia viento abajo.

En base a lo anterior, podemos decir que aun cuando la concentración instantánea de una pluma sea completamente irregular, su promedio en tiempos suficientemente largos (por ejemplo, una hora) genera en la mayoría de los casos, distribuciones de concentración "acampanadas" que pueden bien ser aproximadas a una distribución gaussiana, tanto en la dirección horizontal como en la vertical.

Un área que ha recibido particular énfasis en su estudio es la identificación de los parámetros que requiere la última ecuación para dar una buena estimación de la concentración máxima a nivel del suelo. Como ya se mencionó, el modelo gaussiano se encuentra lejos de ser exacto. Sin embargo, se han incorporado a su ecuación general algunos términos adicionales para mejorar su desempeño frente a determinadas situaciones. Entre éstas, es conveniente destacar la incorporación de términos reflectivos para simular la reflexión que puede sufrir una pluma, ya sea total o parcial debido a su interacción con el suelo subyacente o cuando su desarrollo en altura se encuentra limitado por una capa de inversión térmica. También se han incorporado términos de decaimiento, deposición y transformaciones químicas para simular procesos de remoción de los contaminantes desde la atmósfera, tratamiento de fuentes lineales, área o volumen, efectos de fumigación de una pluma sobre el suelo, efectos de edificaciones, plumas que ven limitado su desarrollo al ser atrapados al interior de un valle, plumas inclinadas, terreno complejo y dispersión en zonas costeras, etc. No obstante, estos ajustes no son suficientes para representar todos los procesos y deben ser utilizados cuidadosamente. A su vez, van en desmedro de la mayor ventaja de los modelos gaussianos, como es su simplicidad.

6.9.3 Software de modelización: SCREEN3

Entre todos los modelos que proporciona la US Environmental Protection Agency, se ha optado por trabajar con SCREEN3 el cual usa un modelo de pluma gaussiana que incorpora factores relacionados a la fuente y factores meteorológicos para calcular la concentración de contaminantes de fuentes continuas, asumiendo que el contaminante no experimenta ninguna reacción química, y que ningún otro proceso de remoción (como deposición húmeda o seca) actúa sobre la pluma durante su transporte desde la fuente.

El modelo está basado en ecuaciones Gaussianas. La ecuación principal de cálculo de concentraciones de dispersión de la pluma es:

$$X = \frac{Q}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \left\{ e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r - h_g}{\sigma_z} \right)^2} + e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r + h_g}{\sigma_z} \right)^2} + \sum_{N=1}^k \left[\left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r - h_g - 2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2} \right] + \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r + h_g - 2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2} \right] + \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r - h_g + 2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2} \right] + \left[e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{z_r + h_g + 2Nz_i}{\sigma_z} \right)^2} \right] \right] \right\}$$

Donde:

X= Concentración (g/m³)

Q= Flujo o tasa de emisión (g/s)

U_s= Velocidad del viento a la altura de la chimenea

σ_y= Parámetro lateral de dispersión

Z_r= Altura del receptor sobre el suelo

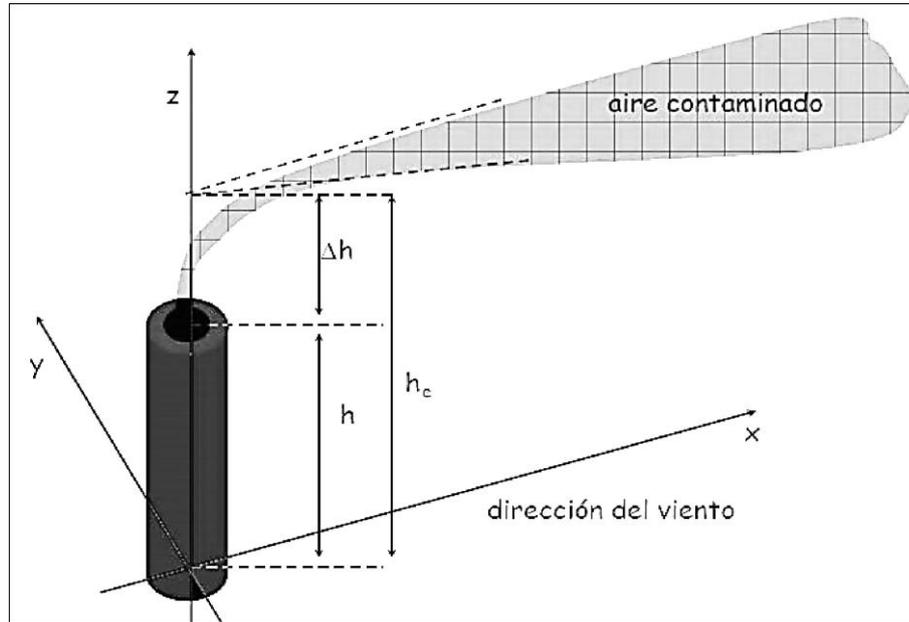
H_e= Altura de la pluma (m)

Z_i= Altura de la mezcla (m)

K= Sumatoria límite de la pluma, fuera de la tierra y a inversión elevada, usualmente =<4

En la ecuación, el suelo de la fuente, se trata como una superficie plana que no absorbe contaminante. El significado de las variables se representa en la siguiente ilustración:

Figura 25: Representación física de las variables usadas en la ecuación principal de SCREEN3



Teniendo en cuenta que para condiciones estables o para alturas de mezcla mayor o igual a 10.000 metros, se asume que el término de la sumatoria es cero.

La ecuación (I), es usada para modelar impactos de pluma desde fuentes de punto, liberaciones por incineración, fuentes de área y liberaciones volumétricas.

Los parámetros de dispersión (vertical y lateral) son calculados en base al método de Paquill, donde V_y y V_z , se calculan de la siguiente manera:

$$\sigma_y = ax^b \quad \text{(J)}$$

$$\sigma_z = cx^d \quad \text{(K)}$$

Donde x es la distancia de la fuente.

Los valores de a, b, c y d , son ajustados para distancias comprendidas entre 100 y 10.000 m. La siguiente Tabla, presenta los distintos coeficientes, según la clase de estabilidad atmosférica usada en la modelación, tema del cual se profundizará más adelante.

Tabla 20: Coeficientes del método de Paquill respecto a la clase de estabilidad atmosférica

Clase de estabilidad	Coeficientes			
	a	b	c	d
A	0,527	0,865	0,28	0,90
B	0,371	0,866	0,23	0,85
C	0,209	0,897	0,22	0,80
D	0,128	0,905	0,20	0,76
E	0,098	0,902	0,15	0,73
F	0,065	0,902	0,12	0,67

Para el cálculo de la altura de la pluma, se hace uso de la ecuación de Briggs (L). Dicha ecuación permite hallar el ascenso de la columna de humo, Δh , que introduce los efectos del momento, la sustentación y la estabilidad atmosférica.

$$\Delta h = 114 \frac{CF^{\frac{1}{2}}}{u_s} \quad (\text{L})$$

Donde C, es un parámetro que depende del gradiente de temperatura, u_s es la velocidad del viento a la altura de la chimenea, y F es el factor de flotación (en unidad m^4/s^3) que se obtiene a partir de:

$$F = g v_s D^2 \frac{(T_f - T_a)}{4T_a} \quad (\text{M})$$

Donde g es la aceleración de la gravedad, v_s la velocidad del gas a la salida de la chimenea, D el diámetro interno de la chimenea y T_f y T_a las temperaturas de salida del gas y la de ambiente en K, respectivamente.

Por lo anterior, la altura final de la pluma se calcula por:

$$h_g = h + \Delta h \quad (\text{N})$$

Donde h es la altura de la chimenea.

6.9.3.1 Fuentes de Punto

Para fuentes de punto son necesarios los siguientes datos de entrada:

- Tasa o cantidad de emisión (g/s)
- Altura de la chimenea (m)
- Diámetro interior de la chimenea (m)
- Velocidad de salida del gas de la chimenea (m/s) o tasa de flujo (ACFM o m^3/s)
- Temperatura del gas de la chimenea (K)
- Temperatura ambiente (K) (por predeterminación 293 K si se desconoce)
- Altura del receptor sobre el suelo (m)
- Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

La determinación de la aplicabilidad de la dispersión urbana o rural se basa en el uso de la tierra o densidad de población.

6.9.3.2 Liberaciones por Incineración

Para liberaciones por incineración, se calcula el ascenso de la pluma en base a un parámetro de flujo por flotación inducida. Se asume una temperatura ambiente de 293 K en este cálculo y, por lo tanto, ésta no se proporciona por el usuario. Para este tipo de cálculo son necesarios los siguientes datos de entrada:

- a) Tasa de emisión (g/s)
- b) Altura de la chimenea de incineración (m)
- c) Tasa de liberación total de calor (cal/s)
- d) Altura del receptor sobre el nivel de piso (m)
- e) Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

En el caso de las liberaciones por incineración, el factor de flotación F calculado por la ecuación (O):

$$F = 1,66 * 10^{-5} * H \quad (O)$$

Donde H es la tasa de liberación total de calor (cal/s). La fórmula anterior, es derivada de la fórmula de Briggs, asumiendo

$$T_a=293 K$$

$$C_p=0.24 \text{ cal/gK}$$

$$v_s=20 \text{ m/s}$$

$$T_f=1273 k$$

y la tasa de calor sensible como $Q_H=0.45H$. Se supone que 55% del calor total se pierde debido a la radiación (Leahey and Davies, 1984). El diámetro de la chimenea se asume, como un diámetro eficaz por la ecuación (P):

$$D = 9.88 * 10^{-4}(Q_H)^{0,5} \quad (P)$$

El ascenso de la pluma se calcula desde la cresta de la flama, suponiendo que la flama está inclinada 45° con respecto al eje vertical.

6.9.3.3 Fuentes de Área

El algoritmo de fuente de área se basa en un enfoque de integración numérica, y permite que las fuentes de área se aproximen a un área rectangular.

Los datos de entrada solicitados son los siguientes:

- a) Tasa o cantidad de emisión [g/(s-m²)]
- b) Altura de la fuente de liberación (m)
- c) Longitud del lado más largo del área rectangular (m)
- d) Longitud del lado más corto del área rectangular (m)
- e) Altura del receptor sobre el suelo (m)
- f) Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)
- g) Opción de búsqueda de dirección del viento (si no, especificar ángulo deseado)

6.9.3.4 Fuentes Volumétricas

En caso de fuentes volumétricas, el algoritmo se basa en un enfoque de fuente de punto virtual y se puede usar para fuentes no flotantes cuyas emisiones ocupan un volumen inicial. Los datos de entrada solicitados son los siguientes:

- a) Tasa o cantidad de emisión (g/s)
- b) Altura de la fuente de liberación (m)
- c) Dimensión lateral inicial del volumen (m)
- d) Dimensión vertical inicial del volumen (m)
- e) Altura del receptor sobre el suelo (m)
- f) Opción urbana/rural (U = urbana, R = rural)

Es necesario determinar las dimensiones iniciales de la fuente antes de ejercitar la fuente volumétrica de SCREEN3. La siguiente, proporciona una guía para determinar estos datos de entrada. Debido a que el algoritmo de fuente volumétrica no puede calcular concentraciones dentro de la fuente volumétrica, el modelo dará una concentración de cero para distancias de menos de $2,15\sigma_{y0}$. (medidos desde el centro del volumen).

Resumen de procedimientos sugeridos para estimar las dimensiones iniciales laterales σ_{y0} y las dimensiones iniciales verticales σ_{z0} para fuentes volumétricas.

Descripción de la Fuente	Dimensión Inicial
(a) Dimensiones Iniciales Laterales (V_{y0})	
Fuente Volumétrica Sencilla	V_{y0} = longitud del lado dividido entre 4,3
(b) Dimensiones Iniciales Verticales (d_{z0})	
Fuente con Base Superficial ($h_e \sim 0$)	V_{z0} = dimensión vertical de la fuente dividida entre 2,15
Fuente elevada ($h_e > 0$) sobre o adyacente a un edificio	V_{z0} = altura de edificio dividida entre 2,15
Fuente elevada ($h_e > 0$) no sobre no adyacente a un edificio	V_{z0} = dimensión vertical de fuente dividida entre 4,3

6.9.3.5 Opción de Terreno Complejo

La opción de SCREEN3 de terreno complejo permite calcular impactos para casos donde las elevaciones de terreno exceden la altura de la chimenea. Seleccionando esta opción, SCREEN3 calcula una altura final de pluma estable y la distancia al ascenso final. Esta técnica supone una velocidad del viento a la altura de la chimenea de 2.5 m/s. Para terreno complejo, se espera que ocurran impactos máximos de la pluma en el terreno elevado bajo condiciones estables. Por lo tanto, es primordial escribir las distancias mínimas y las alturas del terreno para los cuales el impacto es probable, dada la altura calculada de la pluma, y tomando en cuenta que el terreno complejo está más cercano que la distancia del ascenso final. Además, se pueden hacer cálculos por separado entre terrenos simples y terrenos complejos. Debe considerarse que SCREEN3 no considera los efectos de la caída de flujo por edificio ni en el componente de terreno simple del procedimiento de filtración de terreno complejo, aún si se selecciona la opción de caída de flujo por edificio. SCREEN3 también usa una altura de receptor por encima del suelo de cero metros en la opción de terreno complejo, aún si se ha escrito un valor diferente de cero. La altura original del receptor se graba para cálculos posteriores.

6.9.3.6 Meteorología

Respecto a las condiciones meteorológicas, se examina un rango de clases de estabilidad y velocidades del viento para identificar el peor caso de condiciones meteorológicas, la combinación de velocidad del viento y estabilidad que resulta en máximas concentraciones a nivel de piso. Las combinaciones de velocidad del viento y clases de estabilidad que usa SCREEN3 se dan en la siguiente Tabla. Las velocidades del viento a 10 metros, se ajustan a la altura de la chimenea usando los exponentes para la ley de potencia para el perfil del viento. Para alturas de liberación menores a los 10 metros, las velocidades del viento se usan sin ajustar. Para distancias mayores a los 50 km, SCREEN3 toma 2 m/s como límite inferior para la velocidad del viento a 10 metros para evitar tiempos de transporte irreales.

Tabla 21: Combinaciones de velocidad del viento y clase de estabilidad usadas en el modelo SCREEN3

Clase de Estabilidad	Velocidad del viento a 10 m. [m/s]												
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	8	10	15	20
A	*	*	*	*	*								
B	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
D	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
E	*	*	*	*	*	*	*	*	*				
F	*	*	*	*	*	*	*						

Además, existen tres opciones para examinar datos meteorológicos.

- Meteorología completa (Todas las estabilizaciones y velocidades eólicas)
- Clase de estabilidad sencilla
- Clase de estabilidad sencilla y velocidad eólica

Se debe usar la opción de Meteorología completa en la mayoría de las aplicaciones, la cual examina las seis clases de estabilidad para fuentes rurales y cinco para fuentes urbanas, y sus

correspondientes velocidades del viento. Si se usa meteorología completa con el arreglo de distancias automático, SCREEN3 imprime las concentraciones máximas para cada distancia, y el máximo total y su correspondiente distancia. La segunda opción, clase de estabilidad sencilla es alimentar una sola clase de estabilidad (1 = A, 2 = B... 6 = F). SCREEN3 examina un rango de velocidades del viento para esa clase de estabilidad solamente. Al usar esta opción, el usuario puede determinar las concentraciones máximas asociadas con cada uno de los procedimientos individuales. La tercera opción, clase de estabilidad sencilla y velocidad eólica, es especificar una sola clase de estabilidad y velocidad del viento. Las últimas dos opciones fueron originalmente puestas en SCREEN3 para facilitar las pruebas solamente, pero podrían ser útiles si ciertas condiciones meteorológicas son importantes. Sin embargo, no se recomiendan para usos rutinarios.

La altura de mezclado que usa SCREEN para condiciones neutrales e inestables (clases A-D) se basa en una estimación de la altura de mezclado manejada mecánicamente. La altura de mezclado mecánico, z_m (m), se calcula como:

$$z_m = 0,3 \frac{u^*}{f} \quad (\text{Q})$$

donde:

u^* = velocidad de fricción (m/s)

f = Parámetro de Coriolis ($9,374 \cdot 10^5 \text{ s}^{-1}$ a 40° de latitud)

Si se usa un perfil de la velocidad del viento, aplicando el modelo log-lineal (los modelos log-lineales tratan todas las variables de forma simétrica), considerando una longitud de aspereza o rugosidad (parámetro usado en teorías relativas a la variación vertical del viento cerca a la superficie de la tierra para describir el grado de aspereza aerodinámica de la superficie) de la superficie cercano a 0,3 m, u^* se calcula de la velocidad del viento a 10 metros, u_{10} como:

$$u^* = 0,1 u_{10} \quad (\text{R})$$

Sustituyendo u^* en la ecuación (R) tenemos

$$z_m = 320 u_{10} \quad (\text{S})$$

La altura de mezclado mecánico se toma como la mínima altura de mezclado diurna. Con el fin de ser conservador para cálculos limitados de mezclado, si el valor de z_m de la ecuación (R) es menor a la altura de la pluma, h_e , entonces la altura de mezclado que se usa en los cálculos de la concentración se dejan igual a $h_e + 1$. Para condiciones estables, la altura de mezclado se deja igual a 10.000 m para representar mezclado ilimitado.

6.9.3.7 Fumigación

La opción para cálculos de fumigación se aplica solamente en lugares rurales tierra adentro con alturas de chimenea mayores o iguales a 10 metros (a al menos 3,000 m de la costa de un gran cuerpo de agua).

El algoritmo de fumigación ignora cualquier efecto potencial del terreno elevado, entregando las concentraciones máximas y las distancias al valor máximo asociadas con fumigación por rompimiento de inversión, y fumigación de litoral. La distancia máxima se basa en una estimación del tiempo necesario para que la capa de mezclamiento y dispersión se establezca en la parte superior de la pluma. Lo anterior es calculado en base a la ecuación de Turner.

$$\begin{aligned} X_{MAX} &= u t_m \\ &= \left(u \rho_a \frac{c_p}{R} \right) \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta Z} \right) (h_i - h) \left(\frac{h_i + h}{2} \right) \end{aligned} \quad (T)$$

Donde:

X_{max} : Distancia con la concentración máxima en dirección del viento

t_m : Tiempo necesario para que la capa de mezcla y dispersión se establezca en la parte superior de la pluma.

u : Velocidad del viento asumida como 2.5 m/s

ρ_a : densidad del aire a temperatura ambiente (1205 g/m³)

C_p : Calor específico del aire a presión constante (0.24 cal/gK)

R : Tasa de calor sensible en el aire por radiación solar (67 cal/m² s)

$\Delta\theta/\Delta z$: Gradiente vertical de temperatura (0.035 K/m en estabilidad F)

H_i : Altura superior de la pluma ($h_e + \sigma_{ze}$)

σ_{ze} : Parámetro de dispersión vertical respecto de la flotabilidad

Y σ_{ze} es calculado mediante la siguiente ecuación (U)

$$\sigma_{ze} = \sqrt{\left(\sigma_z^2 + \left(\frac{h_e}{3.5} \right)^2 \right)} \quad (U)$$

Donde sus variables son la altura final de la pluma y la variable de dispersión vertical, establecidas anteriormente en la ecuación (I). En cuanto a la máxima concentración, es calculada de la siguiente manera:

$$X_f = \frac{Q}{(2\pi)^{0.5} u \left(\sigma_{ye} + \frac{h_e}{8} \right) (h_e + 2\sigma_{ze})} \quad (V)$$

Donde los parámetros involucrados ya han sido explicados anteriormente, excepto σ_{ye} que es el parámetro de dispersión lateral respecto a la flotabilidad, que se calcula:

$$\sigma_{ye} = \sqrt{\left(\sigma_y^2 + \left(\frac{h_e}{3.5} \right)^2 \right)} \quad (W)$$

En caso que la concentración máxima de la pluma ocurra antes de la ribera de la fuente de agua, la distancia donde esto ocurre se calcula:

$$X_{MAX} = \left[\left(\frac{h_e - 2\sigma_{ze}}{6} \right) \right]^2 - x_s \quad (X)$$

Donde X_s es la menor distancia entre la fuente y la ribera de la fuente de agua.

6.9.3.8 Concentraciones máximas para promedios de corto y largo plazo.

Dado que los datos de salida de SCREEN3 están referidos a periodos promedios de 1 hora, en aquellas situaciones para las cuales la normativa indica los límites máximos admisibles de corto plazo para periodos diferentes, se pueden obtener los valores de concentración máxima promedio de acuerdo a la expresión:

$$C_{max}(D_t) = C_{max}(60) \left(\frac{D_t}{60} \right)^{-0,20} \quad (Y)$$

donde D_t es el período promedio regulado (minutos).

Para periodos mayores que 1 hora es recomendado usar los factores de conversión dados en la siguiente tabla:

Tabla 22: Factores de conversión recomendados para periodos de largo plazo

Período Promedio	Factor Multiplicativo
1 h	1,0
3 h	0,9 r 0,1
8 h	0,7 r 0,2
24 h	0,4 r 0,2
Anual	0,08 r 0,02

6.9.3.9 Salidas

El software SCREEN3, posee distintas opciones en que un usuario puede apreciar el resultado de la modelación efectuada. Dichas opciones son "Output File" y "Gráfico".

La opción de "Output File", permite al usuario, obtener un archivo de lectura, donde se presenta el resumen escrito de la modelación, los cuales incluye:

- Fecha y hora de la modelación
- Parámetros de entrada
- Consideraciones
- Concentraciones de salida y distintas alturas de pluma(según se haya escogido distancias discretas o automáticas)
- Mayor altura de la pluma

- Máxima concentración
- Parámetros de dispersión (Vertical y Lateral)

La opción “Gráfico”, entrega al usuario, un gráfico de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vs distancia (m), donde la distancia máxima que abarca el gráfico, es la representada según el mayor dato de entrada en distancia automática o distancia discreta.

6.9.4 Modelización

Con la finalidad de modelizar la inmisión de los diferentes contaminantes sobre un área determinada se modelará una fuente virtual que unifique las emisiones de los 4 motogeneradores instalados de manera contigua. Las emisiones desde esta fuente virtual se calculan a partir de los promedios de: temperaturas de escape, diámetros de escape y caudal másico, mientras que la tasa de contaminantes emitidos se corresponde con la suma de cada motogenerador.

En la siguiente tabla se sintetizan los parámetros de modelización gaussiana mediante el software SCREEN3.

Tabla 23: Parámetros de modelización

Parámetro	Unidad	Valor
Cantidad de motogeneradores	u	4
Caudal de gases de escape	Nm ³ / Hr	2 150
Temperatura de los gases de escape	°C	400
Diámetro del tubo de escape	mm	177
Altura del tubo de escape	m	10
Tipo de fuente		Puntual
Coefficiente de dispersión		Rural
Meteorología completa (todos los casos de estabilidad y velocidades del viento)		
Altura del receptor sobre nivel de terreno	m	1.7
Total de emisiones de contaminantes		
NO (Óxido de nitrógeno)	g/s	0.382
CO (monóxido de carbono)	g/s	1.517
HC (hidrocarburos)	g/s	0.119

6.9.5 Resultados de la modelización

En este apartado se presentan los resultados de la modelización de la dispersión atmosférica de los contaminantes de referencia NOx y CO.

6.9.5.1 Óxidos de nitrógeno NOx

En el siguiente gráfico se indican los niveles de inmisión en las condiciones atmosféricas más desfavorables modelizados en función de la distancia de la fuente de emisión.

Figura 26: Niveles de inmisión de NOx en función de la distancia a la fuente

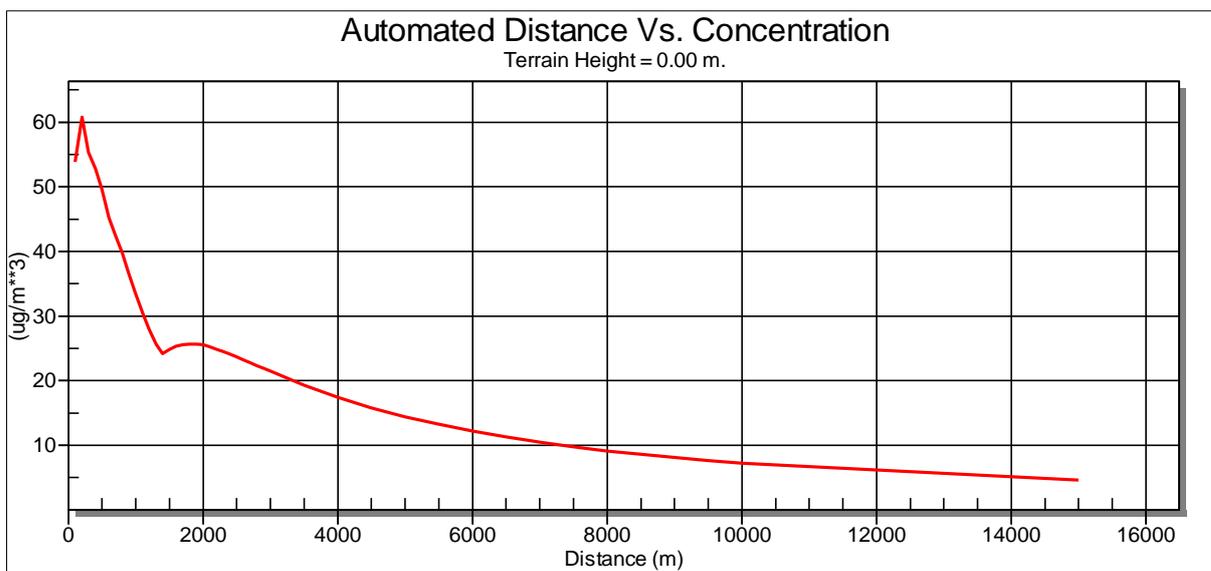


Tabla 24: Parámetros de modelización del software SCREEN3

Parámetro	Unidad	Valor
Tipo de fuente		DE PUNTO
Tasa de emisión	g/s	0.382
Altura de la chimenea	m	10
Diametro interior de la chimenea	m	0.177
Velocidad de salida	m/s	24.27
Temperatura de salida	K	673
Temperatura ambiente	K	293
Altura del receptor	m	1.7
Opcion Urbana/Rural		RURAL
Altura del edificio	m	0
Min horiz dim de edificio	m	0
Max horiz dim de edificio	m	0

Tabla 25: Modelización de los niveles de inmisión de NOX en función de la distancia a la fuente

DIST (M)	CONC (UG/M3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
100	53.86	2	3	3	960	17.42	19.38	10.81	NO
200	60.76	3	2	2	640	21.13	23.83	14.38	NO
300	55.31	3	1.5	1.5	480	24.84	34.55	20.77	NO
400	52.81	4	2	2	640	21.13	29.63	15.6	NO
500	49.6	4	1.5	1.5	480	24.84	36.39	18.78	NO
600	45.19	4	1.5	1.5	480	24.84	42.93	21.63	NO
700	42.55	4	1	1	320	32.26	49.6	24.86	NO
800	39.76	4	1	1	320	32.26	55.94	27.53	NO
900	36.58	4	1	1	320	32.26	62.21	30.14	NO
1000	33.4	4	1	1	320	32.26	68.42	32.72	NO
1100	30.49	4	1	1	320	32.26	74.58	34.71	NO
1200	27.9	4	1	1	320	32.26	80.69	36.65	NO
1300	25.61	4	1	1	320	32.26	86.75	38.53	NO
1400	24.21	6	1	1	10000	35.09	46.6	18.69	NO
1500	24.86	6	1	1	10000	35.09	49.55	19.4	NO
1600	25.3	6	1	1	10000	35.09	52.49	20.1	NO
1700	25.56	6	1	1	10000	35.09	55.41	20.79	NO
1800	25.67	6	1	1	10000	35.09	58.31	21.47	NO
1900	25.66	6	1	1	10000	35.09	61.2	22.13	NO
2000	25.54	6	1	1	10000	35.09	64.08	22.78	NO
2100	25.22	6	1	1	10000	35.09	66.94	23.34	NO
2200	24.86	6	1	1	10000	35.09	69.79	23.88	NO
2300	24.48	6	1	1	10000	35.09	72.63	24.42	NO
2400	24.07	6	1	1	10000	35.09	75.46	24.94	NO
2500	23.65	6	1	1	10000	35.09	78.28	25.45	NO
2600	23.21	6	1	1	10000	35.09	81.08	25.96	NO
2700	22.78	6	1	1	10000	35.09	83.88	26.46	NO
2800	22.34	6	1	1	10000	35.09	86.66	26.95	NO
2900	21.9	6	1	1	10000	35.09	89.44	27.44	NO
3000	21.46	6	1	1	10000	35.09	92.2	27.91	NO
3500	19.29	6	1	1	10000	35.09	105.89	29.85	NO
4000	17.41	6	1	1	10000	35.09	119.38	31.66	NO
4500	15.8	6	1	1	10000	35.09	132.7	33.35	NO
5000	14.41	6	1	1	10000	35.09	145.85	34.95	NO
5500	13.21	6	1	1	10000	35.09	158.85	36.47	NO
6000	12.17	6	1	1	10000	35.09	171.73	37.92	NO
6500	11.26	6	1	1	10000	35.09	184.48	39.3	NO
7000	10.45	6	1	1	10000	35.09	197.12	40.64	NO
7500	9.753	6	1	1	10000	35.09	209.66	41.78	NO
8000	9.132	6	1	1	10000	35.09	222.1	42.88	NO
8500	8.578	6	1	1	10000	35.09	234.45	43.95	NO
9000	8.081	6	1	1	10000	35.09	246.71	44.97	NO
9500	7.633	6	1	1	10000	35.09	258.89	45.97	NO
10000	7.227	6	1	1	10000	35.09	271	46.93	NO
15000	4.624	6	1	1	10000	35.09	388.49	55.35	NO
CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE 1 HORA A MAS DE 100 METROS									
200	60.76	3	2	2	640	21.13	23.83	14.38	NO

Tabla 26: Niveles de inmisión de NOx a 8 y 15 km de distancia de la fuente

DIST (M)	CONC (UG/M3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
8000	9.132	6	1	1	10000	35.09	222.1	42.88	NO
15000	4.624	6	1	1	10000	35.09	388.49	55.35	NO

En la siguiente tabla se contrastan los niveles obtenidos mediante la modelización SCREEN3 en las condiciones atmosféricas más desfavorables y los niveles guía de la normativa Argentina y la Organización Mundial de la Salud OMS.

En todos los casos los niveles esperados en las peores condiciones atmosféricas se encuentran por debajo de los niveles guía.

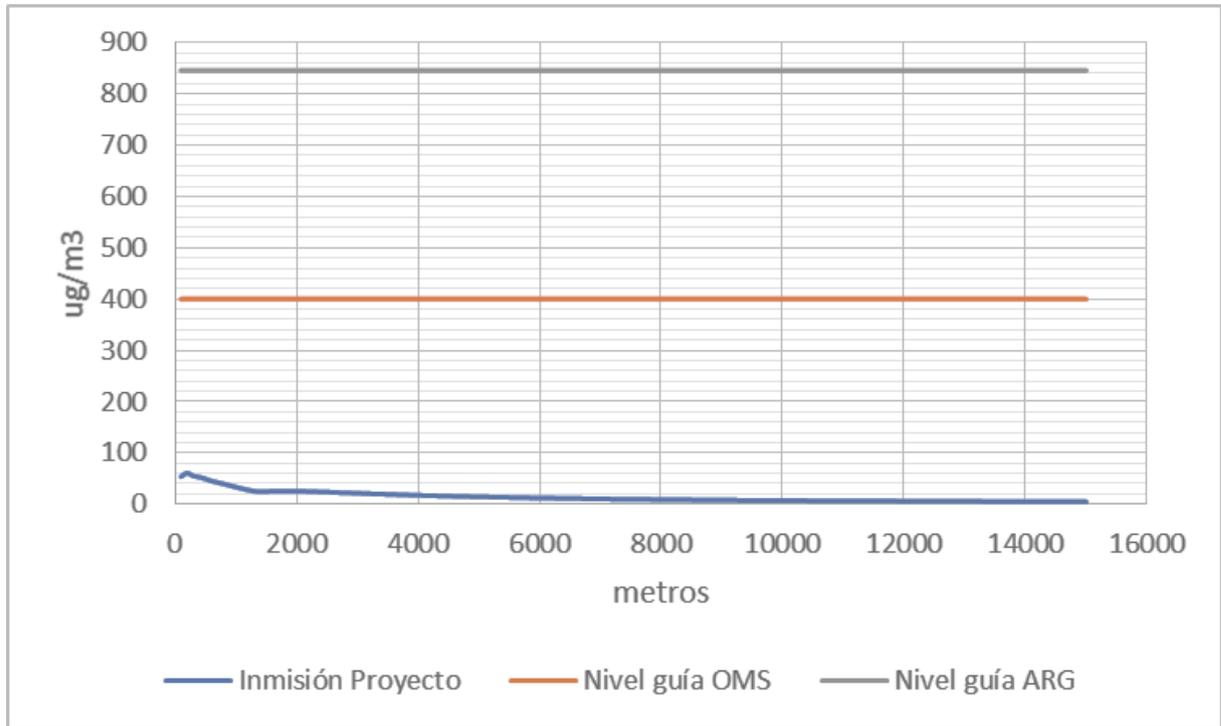
En relación a la normativa Argentina el nivel máximo localizado a 200 metros de la fuente representa el 7.18% del nivel guía. Mientras que en las localidad de Anguil, distante a 8 km de la fuente, la inmisión corresponde al 1% del nivel guía. En el caso de la localidad de Santa Rosa ubicada a 15 km de la fuente de emisiones, la inmisión corresponde al 0.55% del nivel guía.

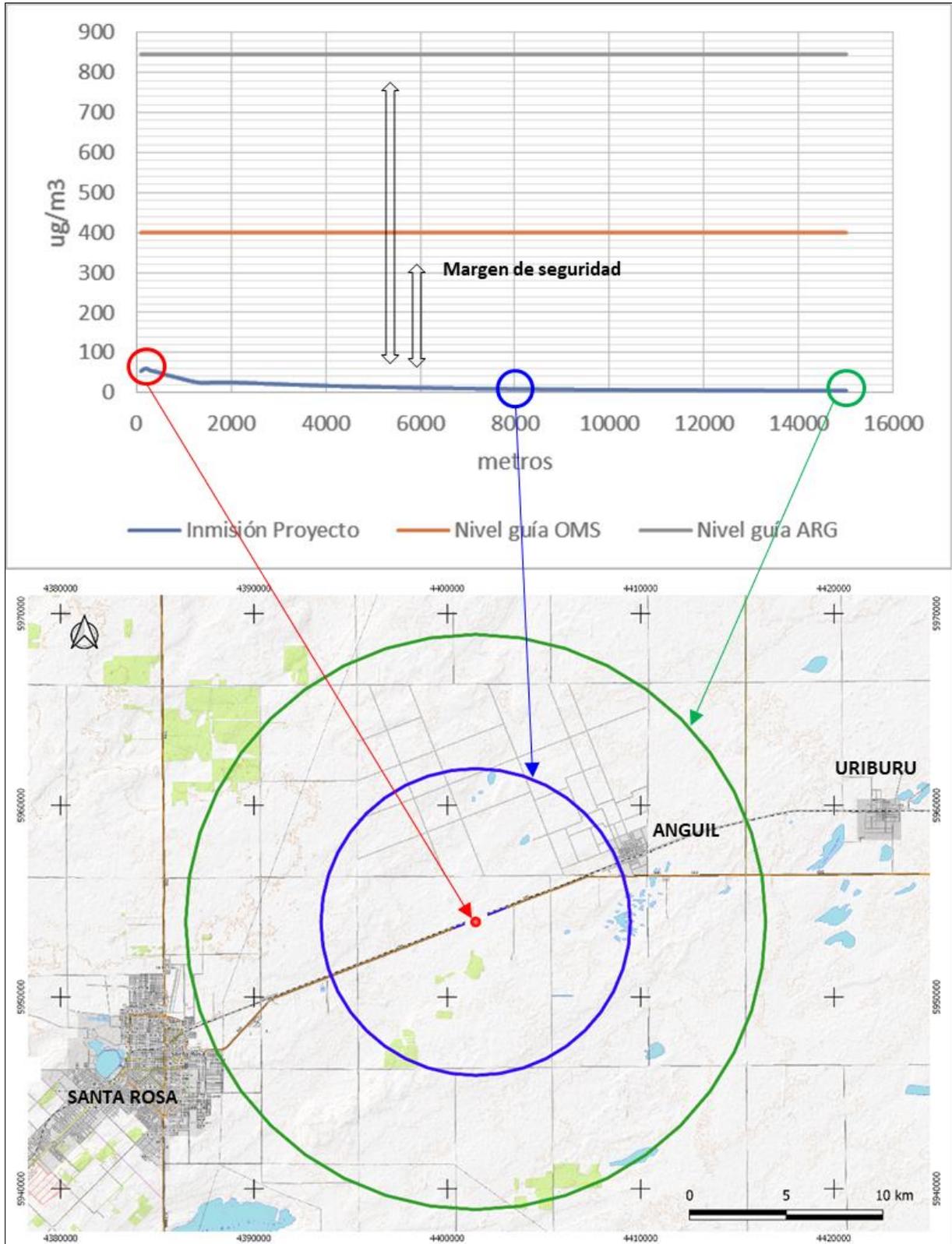
En relación a los niveles recomendados por la OMS el nivel máximo localizado a 200 metros de la fuente representa el 15.19% del nivel guía. Mientras que en las localidad de Anguil, distante a 8 km de la fuente, la inmisión corresponde al 2.28% del nivel guía. En el caso de la localidad de Santa Rosa ubicada a 15 km de la fuente de emisiones, la inmisión corresponde al 1.16% del nivel guía.

Tabla 27: Contraste de la inmisión modelada versus niveles guía. NOx

NOx	Modelización ug/m ³	Niveles Guía			
		Argentina		OMS	
		ug/m ³	%	ug/m ³	%
Proyecto (nivel maximo-0.2 km)	60.8	846.0	7.18%	400.0	15.19%
Proyecto (Anguil - 8 km)	9.1		1.08%		2.28%
Proyecto (Santa Rosa - 15 km)	4.6		0.55%		1.16%

Figura 27: Contraste de la inmisión modelada versus niveles guía. NOx





6.9.5.2 Monóxido de carbono CO

En el siguiente gráfico se indican los niveles de inmisión en las condiciones atmosféricas más desfavorables modelizados en función de la distancia de la fuente de emisión.

Figura 28: Niveles de inmisión de CO en función de la distancia a la fuente

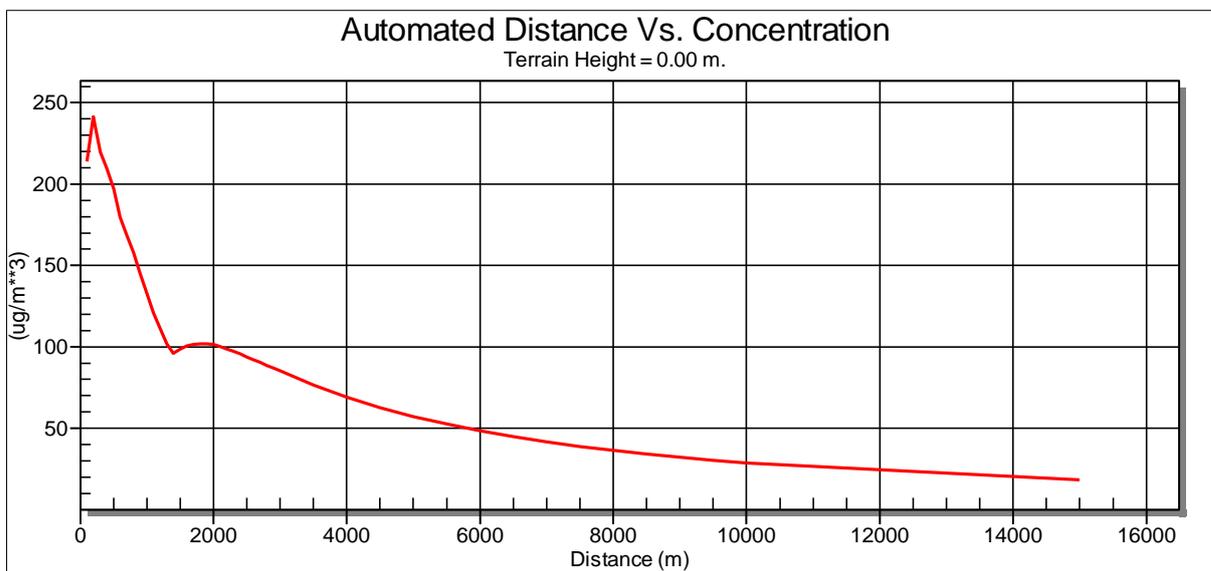


Tabla 28: Parámetros de modelización del software SCREEN3

Parámetro	Unidad	Valor
Tipo de fuente		DE PUNTO
Tasa de emisión	g/s	1.52
Altura de la chimenea	m	10
Diámetro interior de la chimenea	m	0.177
Velocidad de salida	m/s	24.27
Temperatura de salida	K	673
Temperatura ambiente	K	293
Altura del receptor	m	1.7
Opción Urbana/Rural		RURAL
Altura del edificio	m	0
Min horiz dim de edificio	m	0
Max horiz dim de edificio	m	0

Tabla 29: Modelización de los niveles de inmisión de CO en función de la distancia a la fuente

DIST (M)	CONC (UG/M3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
100	213.9	2	3	3	960	17.42	19.38	10.81	NO
200	241.3	3	2	2	640	21.13	23.83	14.38	NO
300	219.7	3	1.5	1.5	480	24.84	34.55	20.77	NO
400	209.7	4	2	2	640	21.13	29.63	15.6	NO
500	197	4	1.5	1.5	480	24.84	36.39	18.78	NO
600	179.5	4	1.5	1.5	480	24.84	42.93	21.63	NO
700	169	4	1	1	320	32.26	49.6	24.86	NO
800	157.9	4	1	1	320	32.26	55.94	27.53	NO
900	145.3	4	1	1	320	32.26	62.21	30.14	NO
1000	132.6	4	1	1	320	32.26	68.42	32.72	NO
1100	121.1	4	1	1	320	32.26	74.58	34.71	NO
1200	110.8	4	1	1	320	32.26	80.69	36.65	NO
1300	101.7	4	1	1	320	32.26	86.75	38.53	NO
1400	96.15	6	1	1	10000	35.09	46.6	18.69	NO
1500	98.74	6	1	1	10000	35.09	49.55	19.4	NO
1600	100.5	6	1	1	10000	35.09	52.49	20.1	NO
1700	101.5	6	1	1	10000	35.09	55.41	20.79	NO
1800	101.9	6	1	1	10000	35.09	58.31	21.47	NO
1900	101.9	6	1	1	10000	35.09	61.2	22.13	NO
2000	101.4	6	1	1	10000	35.09	64.08	22.78	NO
2100	100.2	6	1	1	10000	35.09	66.94	23.34	NO
2200	98.73	6	1	1	10000	35.09	69.79	23.88	NO
2300	97.2	6	1	1	10000	35.09	72.63	24.42	NO
2400	95.58	6	1	1	10000	35.09	75.46	24.94	NO
2500	93.9	6	1	1	10000	35.09	78.28	25.45	NO
2600	92.19	6	1	1	10000	35.09	81.08	25.96	NO
2700	90.45	6	1	1	10000	35.09	83.88	26.46	NO
2800	88.71	6	1	1	10000	35.09	86.66	26.95	NO
2900	86.96	6	1	1	10000	35.09	89.44	27.44	NO
3000	85.23	6	1	1	10000	35.09	92.2	27.91	NO
3500	76.6	6	1	1	10000	35.09	105.89	29.85	NO
4000	69.15	6	1	1	10000	35.09	119.38	31.66	NO
4500	62.74	6	1	1	10000	35.09	132.7	33.35	NO
5000	57.23	6	1	1	10000	35.09	145.85	34.95	NO
5500	52.46	6	1	1	10000	35.09	158.85	36.47	NO
6000	48.32	6	1	1	10000	35.09	171.73	37.92	NO
6500	44.7	6	1	1	10000	35.09	184.48	39.3	NO
7000	41.51	6	1	1	10000	35.09	197.12	40.64	NO
7500	38.73	6	1	1	10000	35.09	209.66	41.78	NO
8000	36.27	6	1	1	10000	35.09	222.1	42.88	NO
8500	34.06	6	1	1	10000	35.09	234.45	43.95	NO
9000	32.09	6	1	1	10000	35.09	246.71	44.97	NO
9500	30.31	6	1	1	10000	35.09	258.89	45.97	NO
10000	28.7	6	1	1	10000	35.09	271	46.93	NO
15000	18.36	6	1	1	10000	35.09	388.49	55.35	NO
CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE 1 HORA A MAS DE 100 METROS									
200	241.3	3	2	2	640	21.13	23.83	14.38	NO

Tabla 30: Niveles de inmisión de CO a 8 y 15 km de distancia de la fuente

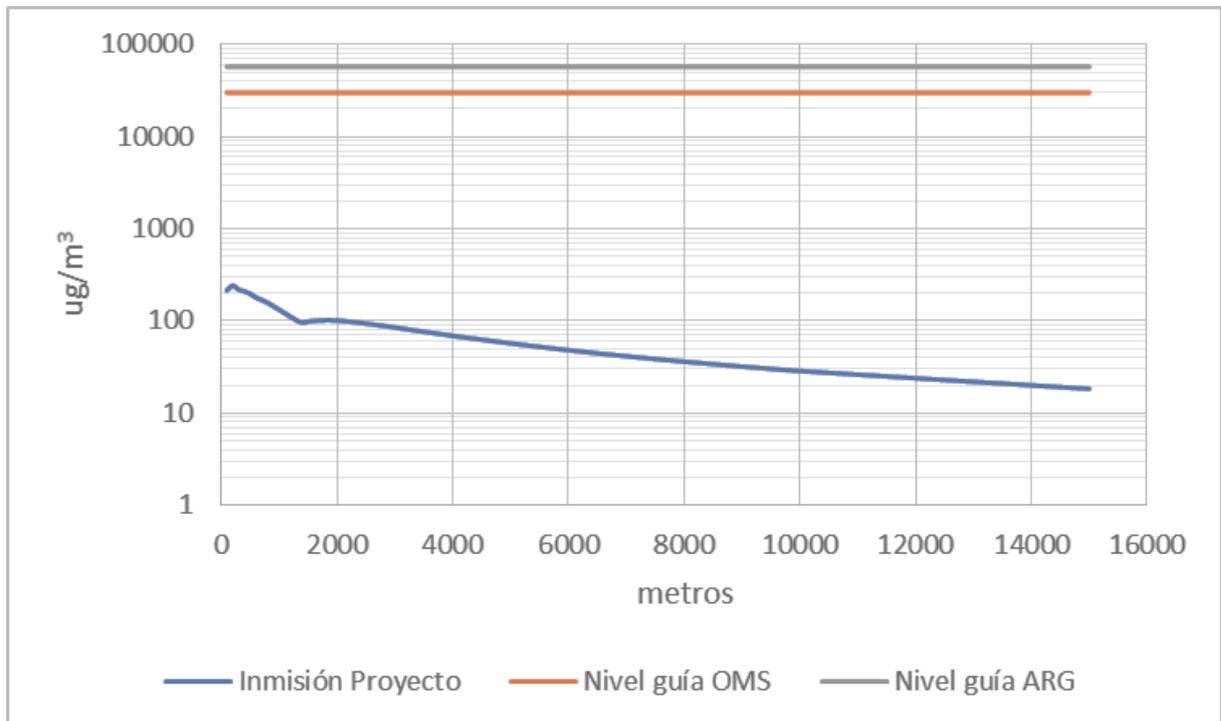
DIST (M)	CONC (UG/M3)	STAB	U10M (M/S)	USTK (M/S)	MIX HT (M)	PLUME HT (M)	SIGMA Y (M)	SIGMA Z (M)	DWASH
8000	36.27	6	1	1	10000	35.09	222.1	42.88	NO
15000	18.36	6	1	1	10000	35.09	388.49	55.35	NO

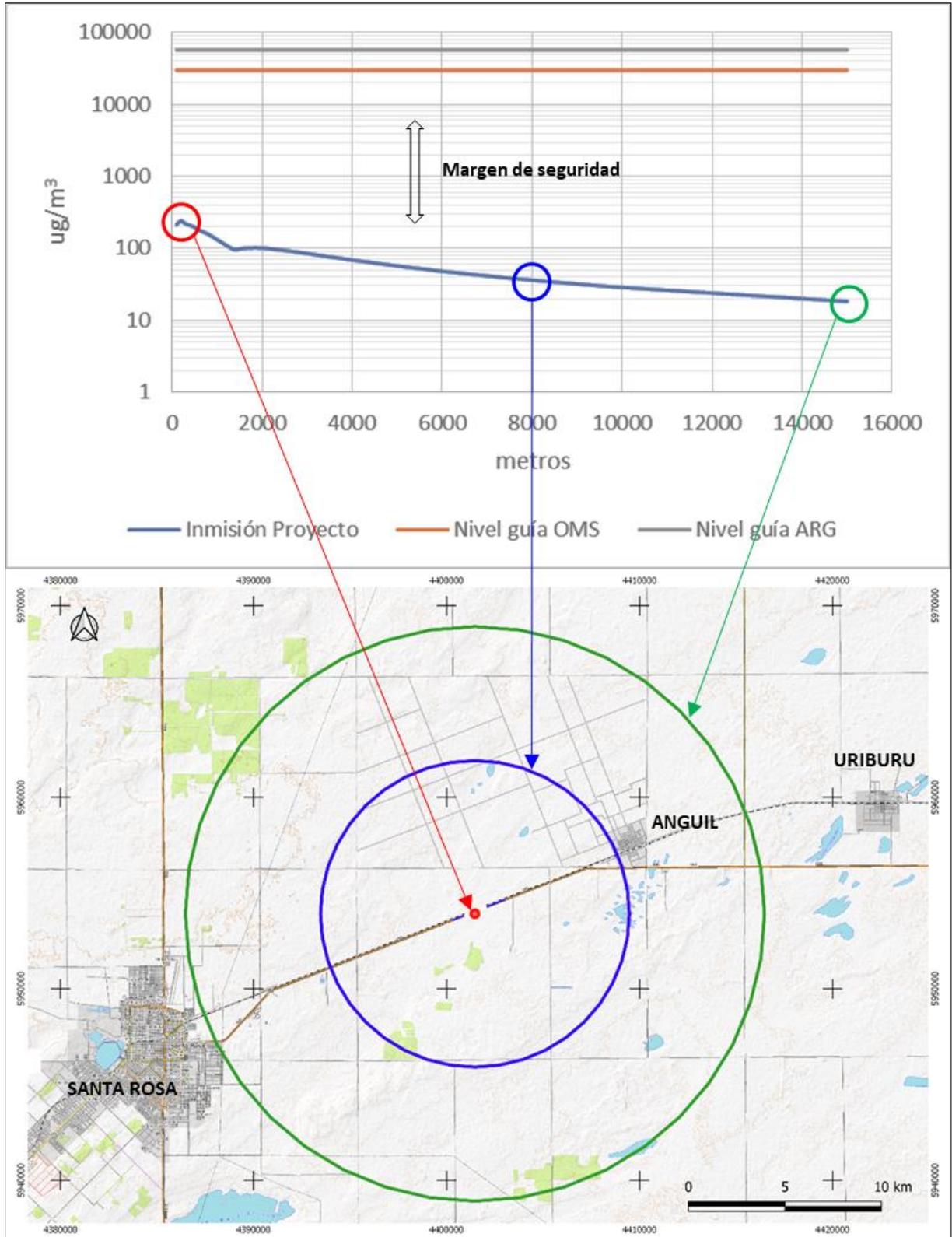
Tabla 31: Contraste de la inmisión modelada versus niveles guía. CO

CO	Modelización ug/m3	Niveles Guía			
		Argentina*		OMS	
		ug/m3	%	ug/m3	%
Proyecto (nivel maximo-0.2 km)	241.3	57300	0.42%	30000	0.80%
Proyecto (Anguil - 8 km)	36.3		0.06%		0.12%
Proyecto (Santa Rosa - 15 km)	18.4		0.03%		0.06%

* Ley nacional N°:20284

Figura 29: Contraste de la inmisión modelada versus niveles guía. CO





7 INVERSIÓN

Ítem	Concepto	Costo Total		Incidencia
		U\$D	AR\$	
		5 618 011	353 934 665	
1	Ingeniería y Dirección de Obra	186 000	11 718 000	3.3%
2	Obras Civiles	824 594	51 949 415	14.7%
3	Equipamiento de procesamiento de RSU	271 115	17 080 245	4.8%
4	Equipamiento de gasificación	3 140 005	197 820 315	55.9%
5	Equipamiento de generación, transformación	1 113 597	70 156 590	19.8%
6	Maquinaria y herramientas	82 700	5 210 100	1.5%

Ingeniería y Dirección de Obra							
Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Costo Total	
				U\$D	AR\$	U\$D	AR\$
1						186 000	11 718 000
1.01	Ingeniería de detalle	gl	1	42 000	2 646 000	42 000	2 646 000
1.02	Dirección de instalación, puesta en marcha y entrenamiento del personal	gl	1	144 000	9 072 000	144 000	9 072 000

Obras Civiles							
Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Costo Total	
				U\$D	AR\$	U\$D	AR\$
2						824 594	51 949 415
2.01	Nave de proceso	m ²	900	344	21 656	309 375	19 490 625
2.02	Nave Planta de Gasificación	m ²	560	344	21 656	192 500	12 127 500
2.04	Vestuarios, baños y cocina Área Operativa	m ²	98	547	34 453	53 594	3 376 406
2.05	Administración	m ²	207	547	34 453	113 203	7 131 797
2.06	Báscula	gl	1	13 375	842 625	13 375	842 625
2.07	Estacionamiento	m ²	200	16	984	3 125	196 875
2.08	Cerco perimetral tipo olímpico y portal de ingreso	m	660	86	5 414	56 719	3 573 281
2.09	Playa de maniobras y caminos de asfalto	m ²	1200	34	2 136	40 688	2 563 313
2.10	Caminos de ripio consolidado	m ²	1815	8	520	14 991	944 418
2.11	Perforación y equipamiento de bombeo	gl	1	15 625	984 375	15 625	984 375
2.12	Línea electrica MT 13,2Kv	m	300	38	2 394	11 400	718 200

Equipamiento de procesamiento de RSU							
Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Costo Total	
				U\$D	AR\$	U\$D	AR\$
3						271 115	17 080 245
3.01	Equipamiento Planta de proceso de Biomasa/CSR		1	180 000	11 340 000	180 000	11 340 000
3.02	Cinta transportadora cubierta		1	10 000	630 000	10 000	630 000
3.03	Tolva - Silo de acopio		2	8 000	504 000	16 000	1 008 000
3.04	Elevador de cangilones		2	32 558	2 051 123	65 115	4 102 245

Equipamiento de gasificación							
Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Costo Total	
				U\$D	AR\$	U\$D	AR\$
4						3 140 005	197 820 315
4.01	Equipamiento Planta de gasificación	gl	2	1 476 890	93 044 070	2 953 780	186 088 140
4.02	Auxiliares – Torre de enfriamiento	gl	1	28 890	1 820 070	28 890	1 820 070
4.03	Auxiliares – Chiller	gl	1	104 000	6 552 000	104 000	6 552 000
4.04	Auxiliares – Evaporador	gl	1	53 335	3 360 105	53 335	3 360 105

Equipamiento de generación, transformación							
Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Costo Total	
				U\$D	AR\$	U\$D	AR\$
5						1 113 597	70 156 590
5.01	Motogeneradores	gl	4	250 517	15 782 550	1 002 067	63 130 200
5.02	Subestación transformadora	gl	1	65 000	4 095 000	65 000	4 095 000
5.03	Línea eléctrica LMT 33kv	m	900	52	3 257	46 530	2 931 390

Maquinaria y herramientas							
Ítem	Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario		Costo Total	
				U\$D	AR\$	U\$D	AR\$
6						82 700	5 210 100
6.01	Auto elevador - Motorización Diésel	un	1	17 000	1 071 000	17 000	1 071 000
6.02	Pala cargadora	un	1	55 700	3 509 100	55 700	3 509 100
6.04	Herramientas menores	gl	1	10 000	630 000	10 000	630 000

8 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Ítem	Concepto	Costo Total Anual
TOTAL		16 385 534
1	Salario Personal	12 286 342
2	Elementos de protección personal EPP	607 320
3	Energía	1 739 006
4	Mantenimiento	1 368 867
5	Gastos generales de administración	384 000

Salario Personal						
Cargo / Función	Salario Bruto	Jubilación	Obra social	Ley 19032 - PAMI	IIGG	Salario Neto
		11%	3%	3%		
GERENTE DE PLANTA	70 000	7 700	2 100	2 100		58 100
SUB-GERENTE ADMINISTRACIÓN	43 000	4 730	1 290	1 290		35 690
SUB-GERENTE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	43 000	4 730	1 290	1 290		35 690
ADMINISTRATIVO	40 000	4 400	1 200	1 200		33 200
OPERADOR PLANTA RSU	40 000	4 400	1 200	1 200		33 200
OPERADOR PLANTA GASIFICACIÓN	40 000	4 400	1 200	1 200		33 200
SEGURIDAD Y CONTROL	36 000	3 960	1 080	1 080		29 880

Salario Personal								
Cargo / Función	Jubilación - Ley 24.241	Obra social - Ley 23.660	PAMI - Ley 19.032 - INSSJP	Asignaciones Familiares - Ley 24.717	Fondo Nacional de Empleo - Ley 24.013	Seguro de Vida Obligatorio	ART (% variable)	Total costo laboral
	10.77%	6.00%	1.58%	4.70%	0.95%	0.03%	3.00%	
GERENTE DE PLANTA	7 539	4 200	1 106	3 290	665	21	2 100	88 921
SUB-GERENTE ADMINISTRACIÓN	4 631	2 580	679	2 021	409	13	1 290	54 623
SUB-GERENTE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	4 631	2 580	679	2 021	409	13	1 290	54 623
ADMINISTRATIVO	4 308	2 400	632	1 880	380	12	1 200	50 812
OPERADOR PLANTA RSU	4 308	2 400	632	1 880	380	12	1 200	50 812
OPERADOR PLANTA GASIFICACIÓN	4 308	2 400	632	1 880	380	12	1 200	50 812
SEGURIDAD Y CONTROL	3 877	2 160	569	1 692	342	11	1 080	45 731

Personal						
Cargo / Función	Cantidad	Régimen	costo unitario mensual	costo total mensual	meses/año	costo total anual
TOTAL	18			945 103		12 286 342
GERENTE DE PLANTA	1	lun-vie	88 921	88 921	13	1 155 973
SUB-GERENTE ADMINISTRACIÓN	1	lun-vie	54 623	54 623	13	710 098
SUB-GERENTE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	1	lun-vie	54 623	54 623	13	710 098
ADMINISTRATIVO	1	lun-vie	50 812	50 812	13	660 556
OPERADOR PLANTA RSU	3	lun-vie	50 812	152 436	13	1 981 668
OPERADOR PLANTA GASIFICACIÓN	8	rotativo	50 812	406 496	13	5 284 448
SEGURIDAD Y CONTROL	3	rotativo	45 731	137 192	13	1 783 501

Elementos de protección personal EPP				
Elementos de protección personal	Cantidad op/año	precio unitario	Operarios	Costo total anual
TOTAL			18	607 320
Camisa	2	800	18	28 800
Pantalón	2	1 200	18	43 200
Delantal protector	6	650	18	70 200
Mameluco impermeable	3	1 250	18	67 500
Botas	2	2 500	18	90 000
Campera	2	2 200	18	79 200
Casco	1	450	18	8 100
Barbijo	60	150	18	162 000
Guantes	36	90	18	58 320

Energía						
Instalaciones	Potencia instalada	Coficiente de simult.	Tiempo diario de operación	Energía anual consumida	Costo de la energía	Costo total anual
	Kw		hs	Kw/h	\$/Kwh	\$
TOTAL				404 420	4.30	1 739 006
Planta de procesamiento	40	0.8	6	70 080	4.30	301 344
Planta de gasificación	40	0.8	24	280 320	4.30	1 205 376
Baños y vestuarios	3	0.5	6	3 285	4.30	14 126
Administración	5	0.5	6	5 475	4.30	23 543
Iluminación exterior	10	1	12	43 800	4.30	188 340
Bomba de agua	2	1	2	1 460	4.30	6 278

Mantenimiento					
Concepto	Costo	Periodo de amortización	Amortización anual	Costo de mant.	Costo de Mant.
		años	\$/año	%	\$/año
TOTAL					1 368 867
Obras Civiles	51 949 415	25	2 077 977	10%	207 798
Equipamiento de procesamiento de RSU	17 080 245	25	683 210	10%	68 321
Equipamiento de gasificación	197 820 315	25	7 912 813	10%	791 281
Equipamiento de generación, transformación	70 156 590	25	2 806 264	10%	280 626
Maquinaria y herramientas	5 210 100	25	208 404	10%	20 840

Gastos generales de administración		
Concepto	Costo mensual	Costo anual
TOTAL		384 000
Telefonía fija	5 000	60 000
Telefonía móvil	5 000	60 000
Internet	3 000	36 000
Seguros	10 000	120 000
Impresos, librería papelería	4 000	48 000
Gastos generales	5 000	60 000

