

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
Facultad Regional Santa Fe

PROYECTO FINAL DE CARRERA

Tomo I: Informe

- Conformación de consorcio GIRSU y diseño de complejo ambiental en departamento Las Colonias -

Alumnos

LOSA, Nicolás R.
MARTINEZ, Lautaro

Directora

Dra. Ing. Alejandra Prono

Docentes

Ing. Juan Pablo Acuña
Ing. Oscar Eduardo Maggi
Ing. Hugo Ramb

- 2019 -

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	15
2. RESUMEN EJECUTIVO	16
3. MARCO CONCEPTUAL.....	19
3.1. <i>Residuos Sólidos (RS)</i>	19
3.1.1. Clasificación de Residuos Sólidos	19
3.1.1.1. Naturaleza Física	20
3.1.1.2. Naturaleza Química	20
3.1.1.3. Peligrosidad	20
3.1.1.4. Reactividad	21
3.1.1.5. Origen	21
3.1.2. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	22
3.1.2.1. Composición de los RSU	22
3.1.2.2. Composición de los RSU en Argentina	23
3.1.2.3. Tasa de generación de residuos sólidos	24
3.1.2.4. Tasa de recolección de residuos sólidos	25
3.2. <i>Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU)</i>	25
3.2.1. Definición	25
3.2.2. Elementos funcionales de un sistema GIRSU	26
3.3. <i>Generación de residuos</i>	26
3.3.1. Caracterización demográfica.....	27
3.4. <i>Manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento de los residuos en el origen</i>	30
3.5. <i>Recolección, transporte y transferencia</i>	35
3.5.1. Clasificación de los servicios de recolección de RSU.....	36
3.5.2. Clasificación de los sistemas de recolección de RSU.....	37
3.5.3. Transporte y transferencia.....	37
3.6. <i>Separación, procesamiento y transformación</i>	39
3.6.1. Centros de Recolección Selectiva y Reventa	40
3.6.2. Instalación de Recuperación de Materiales (IRM)	40
3.6.3. Transformación	42
3.6.3.1. Tratamientos Físicos.....	42
3.6.3.2. Tratamientos Biológicos	44
3.7. <i>Disposición Final o Evacuación</i>	47
3.7.1. Disposición en Basural a Cielo Abierto (BCA).....	47
3.7.2. Disposición en Relleno Semi-controlado.....	48
3.7.3. Disposición en Relleno Controlado o Sanitario	48
3.7.3.1. Localización	49

3.7.3.2.	Métodos de Emplazamiento	53
3.7.3.3.	Tareas de Operación	54
3.7.3.4.	Paquete de impermeabilización.....	57
3.8.	<i>Controles en Rellenos Sanitarios</i>	58
3.8.1.	Control de Lixiviados	58
3.8.1.1.	Tratamiento de Lixiviados por Lagunaje	60
3.8.2.	Control de Gases	65
3.8.3.	Control de Plagas	67
3.9.	<i>Conformación de un sistema GIRSU</i>	68
3.9.1.	Jerarquía en sistema GISRU	69
3.10.	<i>Complejo Ambiental</i>	70
3.10.1.	Componentes complementarios.....	72
3.10.2.	Monitoreo ambiental.....	75
3.11.	<i>Consortio GIRSU</i>	76
4.	MARCO LEGAL	78
4.1.	<i>Nivel Nacional</i>	78
4.2.	<i>Nivel Provincial</i>	80
4.3.	<i>Nivel Local</i>	82
5.	ENFOQUE DE MARCO LÓGICO	83
5.1.	<i>Ubicación temporal y espacial</i>	84
5.2.	<i>Identificación de la Situación Problema</i>	89
5.2.1.	Problemática general	89
5.2.2.	Problemática específica	90
5.3.	<i>Árbol de Problemas</i>	91
5.3.1.	Causas	91
5.3.2.	Efectos.....	92
5.3.3.	Diagrama	94
5.4.	<i>Árbol de Soluciones</i>	95
5.4.1.	Medios	95
5.4.2.	Fines	96
5.4.3.	Diagrama	97
5.5.	<i>Identificación de Actores</i>	98
5.6.	<i>Modalidades de intervención</i>	101
5.7.	<i>Matriz de Marco Lógico</i>	104
6.	RELEVAMIENTO PRELIMINAR	107

6.1.	<i>Descripción general de las localidades</i>	107
6.1.1.	Humboldt	107
6.1.2.	Esperanza	108
6.1.3.	Santa María Norte	108
6.1.4.	San Jerónimo Norte	109
6.1.5.	Las Tunas	110
6.1.6.	Franck	110
6.1.7.	San Jerónimo del Sauce	111
6.1.8.	San Carlos Norte	111
6.1.9.	San Carlos Sud	112
6.1.10.	San Carlos Centro	112
6.1.11.	San Agustín	113
6.1.12.	Matilde	114
6.1.13.	Sauce Viejo	115
6.2.	<i>Desarrollo en Materia GIRSU</i>	117
6.2.1.	Humboldt	117
6.2.2.	Esperanza	118
6.2.3.	Santa María Norte	119
6.2.4.	San Jerónimo Norte	119
6.2.5.	Las Tunas	120
6.2.6.	Franck	121
6.2.7.	San Jerónimo del Sauce	122
6.2.8.	San Carlos Norte	123
6.2.9.	San Carlos Sud	123
6.2.10.	San Carlos Centro	124
6.2.11.	San Agustín	126
6.2.12.	Matilde	126
6.2.13.	Sauce Viejo	127
6.3.	<i>Antecedente de Consorcio GIRSU</i>	130
6.4.	<i>Caracterización demográfica</i>	132
6.5.	<i>Características climáticas</i>	136
6.5.1.	Temperatura y humedad	136
6.5.2.	Vientos	136
6.6.	<i>Características hidrológicas</i>	138
6.6.1.	Cuencas hidrográficas	138
6.6.2.	Régimen de Precipitaciones	139
6.6.3.	Niveles freáticos	142
6.6.4.	Cuerpos de agua superficiales	145
6.7.	<i>Geomorfología</i>	147
6.7.1.	Formaciones geológicas	147

6.7.1.1.	Chaco Santafesino	148
6.7.1.2.	Sistema Río Paraná.....	148
6.7.1.3.	Pampa Norte	149
6.7.2.	Estudios Geofísicos.....	149
6.7.3.	Clasificación Agrotécnica	151
6.8.	<i>Características Geotécnicas</i>	151
6.8.1.	Tensión admisible de trabajo.....	151
6.9.	<i>Existencia de áreas naturales protegidas</i>	152
7.	CONFORMACIÓN DE CONSORCIO GIRSU	153
7.1.	<i>Propuesta de alternativas</i>	153
7.1.1.	Agrupación de localidades	155
7.1.1.1.	Alternativa A1.....	158
7.1.1.2.	Alternativa A2.....	159
7.1.1.3.	Alternativa A3.....	160
7.1.1.4.	Alternativa A4.....	161
7.1.1.5.	Alternativa A4'.....	162
7.1.2.	Predimensionamiento del complejo ambiental.....	163
7.1.2.1.	Alternativa A1.....	171
7.1.2.2.	Alternativa A2.....	171
7.1.2.3.	Alternativa A3.....	172
7.1.2.4.	Alternativa A4.....	172
7.1.2.5.	Alternativa A4'.....	172
7.1.3.	Localización del complejo ambiental	174
7.1.3.1.	Alternativa A1.....	179
7.1.3.2.	Alternativa A1'.....	181
7.1.3.3.	Alternativa A2.....	184
7.1.3.4.	Alternativa A2'.....	186
7.1.3.5.	Alternativa A3.....	189
7.1.3.6.	Alternativa A4.....	189
7.1.3.7.	Alternativa A4'.....	192
7.1.4.	Conclusión.....	193
7.1.4.1.	Alternativa A1.....	193
7.1.4.2.	Alternativa A1'.....	194
7.1.4.3.	Alternativa A2.....	195
7.1.4.4.	Alternativa A2'.....	196
7.1.4.5.	Alternativa A3.....	197
7.1.4.6.	Alternativa A4.....	198
7.1.4.7.	Alternativa A4'.....	199
7.2.	<i>Selección entre Alternativas</i>	200
7.2.1.	Sistema de Evaluación Multicriterio	200

7.2.1.1.	Criterios de Decisión.....	201
7.2.1.2.	Matriz de Decisión Multicriterio	214
7.2.1.3.	Función Objetivo	214
7.2.1.4.	Matriz de Peso Propio	214
7.2.1.5.	Vector de Ponderación.....	215
7.2.2.	Resultado de la Evaluación Multicriterio	217
8.	SISTEMA GIRSU	220
8.1.	<i>Intervenciones No Estructurales</i>	<i>220</i>
8.1.1.	Normativa local	220
8.1.2.	Canales de información.....	220
8.1.3.	Generación de RSU	223
8.1.4.	Manipulación, separación, procesamiento en origen y disposición inicial	223
8.1.5.	Recolección, transporte y transferencia	229
8.2.	<i>Intervenciones Estructurales.....</i>	<i>232</i>
9.	DISEÑO DE INTERVENCIONES ESTRUCTURALES	235
9.1.	<i>Instalación de recuperación de materiales.....</i>	<i>235</i>
9.1.1.	Operación de la IRM.....	236
9.1.2.	Capacidad de procesamiento de RSU	239
9.1.3.	Recuperación de materiales.....	243
9.1.4.	Materiales enfardados	246
9.1.5.	Procesamiento del vidrio	247
9.1.6.	Acopio de materiales recuperados	248
9.1.7.	Arquitectura y estructura.....	251
9.2.	<i>Relleno Sanitario.....</i>	<i>252</i>
9.2.1.	Diseño de módulo de RSU.....	252
9.2.1.1.	Profundidad y altura de diseño	252
9.2.1.2.	Terraplenes de batea	254
9.2.1.3.	Ubicación y ancho de diseño.....	254
9.2.1.4.	Talud y coronamiento de módulo	255
9.2.1.5.	Largo de diseño	255
9.2.2.	Diseño del fondo de batea	257
9.2.2.1.	Capa impermeable	257
9.2.2.2.	Drenaje de fondo.....	257
9.2.3.	Diseño de la cobertura final del módulo.....	258
9.3.	<i>Sistema de tratamiento de lixiviados.....</i>	<i>260</i>
9.3.1.	Caudal de diseño.....	260
9.3.2.	Dimensionamiento de lagunas de estabilización	260
9.3.3.	Características constructivas.....	266
9.3.4.	Coliformes fecales	267

9.3.5.	Desinfección por cloración.....	269
9.3.6.	Vertimiento de los efluentes tratados	273
9.3.6.1.	Calidad del efluente	274
9.4.	<i>Sistema de control de gases</i>	275
9.4.1.	Chimeneas de evacuación.....	275
9.5.	<i>Obras complementarias</i>	277
9.5.1.	Oficina de administración y servicios sanitarios	277
9.5.2.	Infraestructura vial.....	277
9.5.2.1.	Accesos y circulación interna	277
9.5.2.2.	Escurrimiento de aguas superficiales	278
9.5.2.3.	Bascula de pesaje	279
9.5.3.	Restricciones perimetrales.....	279
9.5.3.1.	Cerco divisorio.....	279
9.5.3.2.	Barrera forestal	280
10.	CÓMPUTO Y PRESUPUESTO.....	282
11.	ANÁLISIS SOCIO-AMBIENTAL	284
11.1.	<i>Acciones intrínsecas al proyecto</i>	285
11.2.	<i>Impactos ambientales</i>	286
11.3.	<i>Medidas de gestión ambiental</i>	288
12.	CONCLUSIONES	291
13.	BIBLIOGRAFÍA.....	293
13.1.	<i>Libros y manuales</i>	293
13.2.	<i>Papers y trabajos de investigación</i>	293
13.3.	<i>Fuentes digitales</i>	294
13.4.	<i>Citas directas</i>	294

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Población de consorcio GIRSU	17
Figura 3.1 Composición de RSU en Argentina.....	23
Figura 3.2 Composición de fracción inorgánica de RSU	24
Figura 3.3 Modelo de cesto de residuos en altura.....	31

Figura 3.4 Contenedores de RSU – Municipalidad de Rosario	31
Figura 3.5 IRM de la empresa CEAMSE, Ciudad Autónoma de Buenos Aires	39
Figura 3.6 Cinta transportadora y contenedores de separación.	41
Figura 3.7 Trituradora preparando RSU para la elaboración de combustible.	42
Figura 3.8 Cinta pequeña para recuperación de PET. CABA, provincia de Bs. As.	43
Figura 3.9 Enfardadora para cartón y papel, ciudad de Córdoba capital.....	43
Figura 3.10 (a) hilera con volteo periódico, (b) pila estática aireada.....	45
Figura 3.10 (c) flujo por pistón en biorreactor.....	45
Figura 3.11 Biodigestores FORSU (fracción orgánica de RSU)	46
Figura 3.12 Esquema de Relleno Sanitario y sus partes componentes.....	49
Figura 3.13 Métodos de Relleno (a) combinado y (b) en positivo	54
Figura 3.14 Corte transversal de un Relleno Sanitario.....	55
Figura 3.15 Planes típicos de Relleno en (a) un nivel y (b) varios niveles.	56
Figura 3.16 Paquete de impermeabilización y canalización de lixiviado	57
Figura 3.17 Composición típica del producto de lixiviado.	58
Figura 3.18 Esquema de un balance hídrico	59
Figura 3.19 Nomograma de Thirumurthi	65
Figura 3.20 Construcción de chimenea de gases de un Relleno Controlado	67
Figura 3.21 Jerarquía de la gestión integral de residuos sólidos	70
Figura 3.22 Bioparque Metropolitano (Ex relleno sanitario de Villa Dominico)	71
Figura 5.1 Provincia de Santa Fe, Argentina	84
Figura 5.2 Departamento Las Colonias y área de estudio - Santa Fe, Argentina	85
Figura 5.3 Área inicialmente delimitada	86
Figura 5.4 Área de Estudio	88

Figura 5.5 Árbol de Problemas.....	94
Figura 5.6 Árbol de Soluciones.....	97
Figura 6.1 Vientos Preponderantes	137
Figura 6.2 Cuencas en área de Estudio	138
Figura 6.3 Precipitación media anual (mm) – Provincia de Santa Fe	139
Figura 6.4 Climograma Rafaela – Serie Histórica 1930 a 2017.....	140
Figura 6.5 Precipitación media mensual (San Carlos Centro) – Serie 2017 a 2019.....	141
Figura 6.6 Nivel Freático Rafaela – Serie Histórica.....	142
Figura 6.7 Cuerpos de aguas superficiales (a).....	145
Figura 6.8 Cuerpos de aguas superficiales (b).....	146
Figura 6.9 Regiones geomorfológicas en el área de estudio.....	147
Figura 6.10 Mapa geológico de la provincia de Santa Fe.....	150
Figura 6.11 Áreas naturales protegidas y zonificación de bosques nativos.....	152
Figura 7.1 Proceso de composición y selección de alternativas	154
Figura 7.2 Vías de comunicación existentes	156
Figura 7.3 Máxima distancia de Transporte.....	157
Figura 7.4 Alternativa A1.....	158
Figura 7.5 Alternativa A2.....	159
Figura 7.6 Alternativa A3.....	160
Figura 7.7 Alternativa A4.....	161
Figura 7.8 Alternativa A4'	162
Figura 7.9 Mapa de riesgo hídrico.....	175
Figura 7.10 División catastral de San Agustín	177
Figura 7.11 Canales en terreno analizado.....	178

Figura 7.12 Ubicación complejo ambiental (A1)	180
Figura 7.13 Potenciales interferencias (A1)	180
Figura 7.14 Riesgo hídrico (A1)	181
Figura 7.15 Ubicación complejo ambiental (A1')	182
Figura 7.16 Potenciales interferencias (A1')	183
Figura 7.17 Riesgo hídrico (A1')	183
Figura 7.18 Ubicación complejo ambiental (A2)	184
Figura 7.19 Potenciales interferencias (A2)	185
Figura 7.20 Riesgo hídrico (A2)	186
Figura 7.21 Ubicación complejo ambiental (A2')	187
Figura 7.22 Potenciales interferencias (A2')	188
Figura 7.23 Riesgo hídrico (A2')	188
Figura 7.24 Ubicación complejo ambiental (A4)	190
Figura 7.25 Potenciales interferencias (A4)	191
Figura 7.26 Riesgo hídrico (A4)	191
Figura 7.27 Alternativa A1.....	193
Figura 7.28 Alternativa A1'.....	194
Figura 7.29 Alternativa A2.....	195
Figura 7.30 Alternativa A2'.....	196
Figura 7.31 Alternativa A3.....	197
Figura 7.32 Alternativa A4.....	198
Figura 7.33 Alternativa A4'.....	199
Figura 7.34 Préstamo de suelo potencial (a).....	208
Figura 7.35 Préstamo de suelo potencial (b)	209

Figura 7.36 Préstamo de suelo potencial – Aptitud agropecuaria del suelo	210
Figura 7.37 Alternativa seleccionada (A1)	218
Figura 8.1 Separación de RSU	225
Figura 8.2 Encuentro sobre compostaje y reciclado – San Carlos Centro.....	226
Figura 8.3 Contenedores de RSU – Barrio “La Paz” (Córdoba Capital).....	228
Figura 8.4 Camión recolector (San Carlos Centro)	230
Figura 8.5 Camión recolector (San Carlos Centro)	230
Figura 8.6 Fardos de RSU compactado – Planta de recuperación (San Carlos Centro).....	232
Figura 8.7 Diagrama de flujo – Etapa 1	233
Figura 8.8 Diagrama de flujo – Etapa 2	233
Figura 9.1 Diagrama de flujo – procesamiento de materiales	238
Figura 9.2 Enfardadora vertical.....	246
Figura 9.3 Barril para acopio de vidrio molido	247
Figura 9.4 Esquema general de IRM	252
Figura 9.5 Paquete constructivo de la base de relleno	253
Figura 9.6 Perfil de terraplenes de contención de batea.....	254
Figura 9.7 Volumen del módulo de residuo	255
Figura 9.8 Esquema de desagüe para el módulo proyectado	258
Figura 9.9 Paquete constructivo de la cobertura final de relleno.....	259
Figura 9.10 Perfil de terraplenes de laguna Anaeróbica (sup.)- Facultativas (inf.)	267
Figura 9.11 Esquema de cámara de contacto	270
Figura 9.12 Vuelco de efluentes tratados	273
Figura 9.13 Detalle de chimeneas de evacuación de gases	276
Figura 9.14 Disposición de chimeneas de evacuación de gas.....	277

Figura 9.15 Detalle del escurrimiento superficial en caminos	278
Figura 9.16 Detalle tipo del cerco divisorio a ejecutar con tejido olímpico	279
Figura 9.17 Causarinas	280
Figura 9.18 Calistemo.....	281
Figura 10.1 Esquema resumen de costos.....	283

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1 Número de habitantes por Localidad (Censo 2010).....	98
Tabla 6.1 Servicios públicos	116
Tabla 6.2 Resumen de situación GIRSU (a)	128
Tabla 6.3 Resumen de situación GIRSU (b)	129
Tabla 6.4 Población estimada por localidad (2019).....	133
Tabla 6.5 Población estimada por localidad (período 2020-2030).....	134
Tabla 6.6 Población estimada por localidad (período 2031-2040).....	135
Tabla 6.7 Vientos Preponderantes.....	137
Tabla 6.8 Precipitaciones y temperaturas medias mensuales (INTA EEA Rafaela).....	139
Tabla 6.9 Precipitación media mensual (San Carlos Centro) – Serie 2017 a 2019.....	140
Tabla 6.10 NF en Área de Estudio (Marzo 2017 a Marzo 2019).....	143
Tabla 7.1 Proyección poblacional por alternativa (2020 – 2030).....	163
Tabla 7.2 Proyección poblacional por alternativa (2031 – 2040).....	164
Tabla 7.3 Paquetes considerados para la estimación de la altura de relleno.....	168
Tabla 7.4 Presión unitaria ejercida por paquetes constructivos.....	169
Tabla 7.5 Presión unitaria ejercida por celdas diarias de residuos.....	170
Tabla 7.6 Predimensionamiento de Relleno Sanitario (A1)	171
Tabla 7.7 Predimensionamiento de Relleno Sanitario (A2)	171

Tabla 7.8 Predimensionamiento de Relleno Sanitario (A3)	172
Tabla 7.9 Predimensionamiento de Relleno Sanitario (A4)	172
Tabla 7.10 Predimensionamiento de Relleno Sanitario (A4')	172
Tabla 7.11 Ubicación de complejo ambiental (A1)	179
Tabla 7.12 Ubicación de complejo ambiental (A1')	181
Tabla 7.13 Ubicación de complejo ambiental (A2)	184
Tabla 7.14 Ubicación de complejo ambiental (A2')	186
Tabla 7.15 Ubicación de complejo ambiental (A3)	189
Tabla 7.16 Ubicación de complejo ambiental (A4)	189
Tabla 7.17 Ubicación de complejo ambiental (A4')	192
Tabla 7.18 Primer criterio de decisión - Población de cada alternativa (a)	201
Tabla 7.19 Primer criterio de decisión - Población de cada alternativa (b)	202
Tabla 7.20 Distancia real entre localidades y complejos ambientales propuestos.....	203
Tabla 7.21 Segundo criterio de decisión - Distancia Eficaz de cada alternativa (a)	204
Tabla 7.22 Segundo criterio de decisión - Distancia Eficaz de cada alternativa (b)	205
Tabla 7.23 Tercer criterio de decisión - Distancia Eficiente de cada alternativa (a)	206
Tabla 7.24 Tercer criterio de decisión - Distancia Eficiente de cada alternativa (b).....	206
Tabla 7.25 Cuarto criterio de decisión - Transporte Dedicado a Operación.....	211
Tabla 7.26 Quinto criterio de decisión - Practicidad de cada alternativa (a).....	213
Tabla 7.27 Quinto criterio de decisión - Practicidad de cada alternativa (b).....	213
Tabla 7.28 Matriz de Decisión Multicriterio.....	214
Tabla 7.29 Función Objetivo	214
Tabla 7.30 Matriz de Peso Propio	215
Tabla 7.31 Resultado de la evaluación multicriterio.....	217

Tabla 7.32 Ficha resumen de la alternativa escogida	219
Tabla 9.1 Composición de la fracción inorgánica de RSU	235
Tabla 9.2 Niveles de recuperación en IRM.....	236
Tabla 9.3 Subclasificación de materiales recuperables.....	237
Tabla 9.4 Procesamiento de materiales recuperables.....	237
Tabla 9.5 Generación de RSU – Consorcio A1.....	240
Tabla 9.6 Cantidad anual de RSU a procesar	241
Tabla 9.7 Cantidad diaria de RSU a procesar	242
Tabla 9.8 Capacidad de procesamiento	242
Tabla 9.9 Materiales recuperados anualmente	244
Tabla 9.10 Materiales recuperados diariamente (a).....	244
Tabla 9.11 Materiales recuperados diariamente (b).....	245
Tabla 9.12 Características de fardos producidos	246
Tabla 9.13 Producción diaria de fardos.....	247
Tabla 9.14 Procesamiento del vidrio (a)	248
Tabla 9.15 Procesamiento del vidrio (b)	248
Tabla 9.16 Materiales a acopiar (1 semana de operación de IRM).....	248
Tabla 9.17 Superficie requerida para el acopio de fardos (por semana)	249
Tabla 9.18 Superficie requerida para el acopio de barriles (por semana)	249
Tabla 9.19 Materiales a acopiar (10 días de operación de IRM).....	249
Tabla 9.20 Superficie requerida para el acopio de fardos (10 días de operación de IRM)	250
Tabla 9.21 Superficie requerida para el acopio de barriles (10 días de operación de IRM)	250
Tabla 9.22 Superficie de acopio adoptada.....	250
Tabla 9.23 Dimensionamiento del módulo de residuos	256

Tabla 9.24 Dimensionamiento de laguna anaeróbica.....	262
Tabla 9.25 Dimensionamiento de laguna facultativa A	264
Tabla 9.26 Dimensionamiento de laguna facultativa B.....	265
Tabla 11.1 Impactos socio-ambientales del proyecto.....	287

TOMO II: ANEXOS

- Anexo 01: Marco Conceptual – Clasificación de los sistemas de recolección de RSU
- Anexo 02: Marco Legal – Nivel Provincial
- Anexo 03: Relevamiento Preliminar – Vientos y Niveles freáticos
- Anexo 04: Relevamiento Preliminar – Niveles freáticos
- Anexo 05: Relevamiento Preliminar – Tensión admisible de trabajo
- Anexo 06: Conformación de consorcio GIRSU – Predimensionamiento del complejo ambiental
- Anexo 07: Conformación de consorcio GIRSU – Resultado de la evaluación multicriterio
- Anexo 08: Planillas de cómputo y presupuesto

TOMO III: PLANOS

- Plano 01: Ubicación geográfica
- Plano 02: Esquema general de complejo ambiental
- Plano 03.1: Relleno sanitario
- Plano 03.2: Terraplenes de módulo de relleno sanitario
- Plano 03.3: Fondo de módulo de relleno sanitario
- Plano 03.4: Cubierta final de módulo de relleno sanitario
- Plano 03.5: Sistema de control de gases
- Plano 04.1: Sistema de tratamiento de lixiviados
- Plano 04.2: Terraplenes de laguna anaeróbica
- Plano 04.3: Terraplenes de lagunas facultativas
- Plano 05: Instalación de recuperación de materiales (IRM)
- Plano 06: Vista renderizada del complejo ambiental

1. INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto, se estudia la problemática inherente a los residuos sólidos urbanos (RSU) en un conjunto de localidades del departamento Las Colonias, provincia de Santa Fe. El mismo pretende evaluar, presentar y desarrollar una alternativa para la gestión, tratamiento y disposición final de RSU, aplicando un abordaje integral. De esta manera, se busca mejorar las condiciones sanitarias y ambientales actuales de las pequeñas y medianas poblaciones comprendidas dentro del área de estudio.

El Proyecto propuesto presenta distintas etapas de desarrollo. En una primera instancia, en base a características geográficas, de infraestructura y criterios técnicos, se evalúan posibles alternativas de conformación de un consorcio de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), buscando maximizar la satisfacción de necesidades tanto sanitarias y ambientales, como económicas en la región.

En una segunda instancia, y en función de los resultados y conclusiones de la primera, se conforma el consorcio incluyendo sus lineamientos generales en materia de educación ambiental, políticas públicas y gestión propiamente dicha.

Finalmente, se proyecta una solución técnica que incluye obras de infraestructura requeridas para el procesamiento, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos urbanos. Esto se logra a través del diseño de un complejo ambiental, funcional al problema regional detectado.

Mediante el desarrollo de este proyecto se busca lograr aportes en dos niveles distintos. A nivel personal, se pretende lograr la aplicación de un amplio abanico de conocimientos adquiridos en la carrera, de manera global e interdisciplinar, en un proyecto concreto de ingeniería abordando una problemática particular, que tiene lugar en un contexto espacio-temporal también definido y acotado.

A nivel comunitario, se desea plantear y estudiar una alternativa (y su viabilidad) para dar solución a un problema ambiental y sanitario recurrente, en el que se ven envueltas la amplia mayoría de las medianas y pequeñas localidades de la provincia. Si bien el presente proyecto brinda una solución localizada en un contexto concreto, sus resultados podrán ser extrapolados (adaptación mediante) a localidades y/o regiones de características similares.

Como se explica más adelante, la problemática de los RSU involucra múltiples aspectos, entre los que se pueden mencionar el cultural, el socio-económico, el legal, técnico-ambiental, gubernamental, entre otros. Consecuentemente se aborda el desarrollo de una solución, no sólo desde una perspectiva meramente técnica, sino también contemplando los mismos.

2. RESUMEN EJECUTIVO

Como ha sido anticipado en la unidad previa, el presente proyecto ha sido abordado en múltiples etapas.

Inicialmente, se ha definido un área de estudio acotada a una extensión superficial de 1547 km², dentro de la Provincia de Santa Fe. El territorio de intervención, nuclea a un total de 13 localidades (pequeñas y medianas), que suman una población total de 42749 habitantes. En todas estas comunidades, se ha detectado la carencia de una gestión adecuada de residuos sólidos, y obras de infraestructuras necesarias para tal fin. Es así que la existencia de un *sistema GRSU deficiente a nivel regional*, ha sido la problemática central a tratar.

Para proporcionar una adecuada solución a la problemática detectada, se ha proyectado la conformación de un consorcio GRSU, diseñándose un complejo ambiental con todas las obras de infraestructura asociadas al mismo, y al alcance definido.

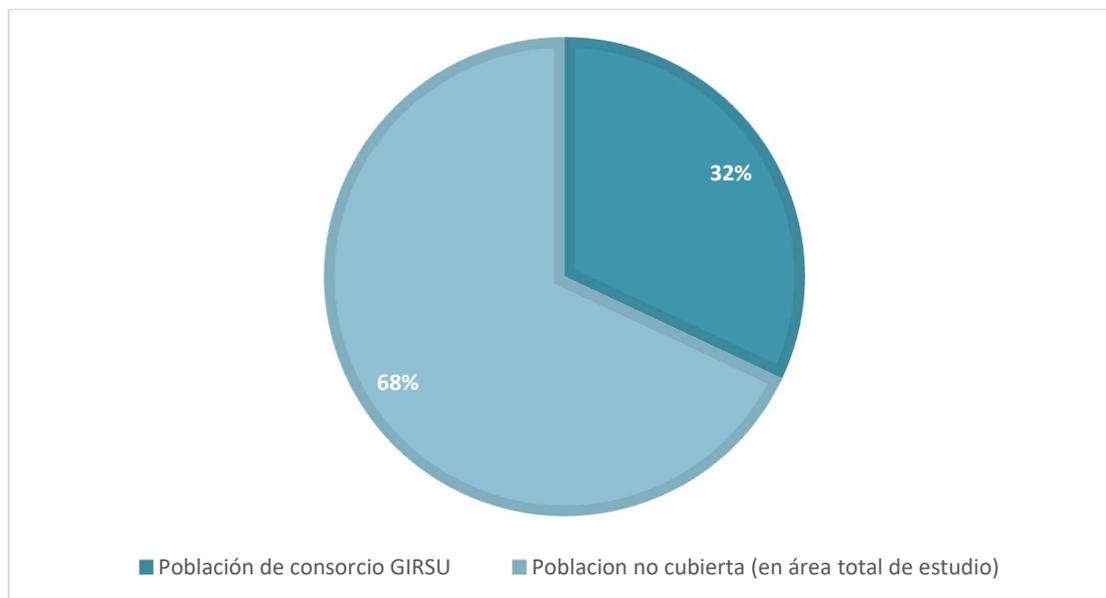
Tras haber realizado un detallado relevamiento y análisis técnico/social de la zona de estudio, se ha dado lugar al abordaje de la solución integral, desglosada en tres instancias principales.

En una primera etapa, sobre la base de lineamientos técnicos y económicos, se han establecido una serie de criterios para la propuesta de alternativas de agrupación de las localidades afectadas, nucleándolas en consorcios para la gestión mancomunada de RSU; efectuándose el predimensionamiento del complejo ambiental de cada una de ellas, y la selección de un predio para su implantación. Para esta última tarea, también se han establecido criterios específicos, en orden de responder a las necesidades técnicas y normativas del caso, y maximizar la eficiencia del resultado.

Es importante resaltar que el presente proyecto no ha buscado diseñar una propuesta que contemple a la totalidad del área de estudio en su conjunto, lo cual “a priori” se sabe que no resulta ser lo más eficiente (área de cobertura demasiado extensa, grandes distancias de transporte, costos operativos elevados, mayores requerimientos de obras civiles, entre otros). En contrapartida, se ha decidido conformar criteriosamente distintas alternativas a evaluar, seleccionándose entre ellas la que resulte óptima para su implementación, y consecuentemente revista un mayor carácter de viabilidad y aplicación práctica concreta.

Posteriormente, se han diseñado una serie de criterios de decisión, y mediante la implementación de un sistema de evaluación multicriterio, se ha arribado a la conclusión de la primera instancia. Como resultado de este estudio, se ha seleccionado una

alternativa que comprende a seis de las localidades situadas dentro de la zona inicial, sumando una población total de 28903 habitantes. Esta magnitud, representa un 32% de los residentes actuales, de la porción analizada de la provincia.



**Fuente: Elaboración propia*

Figura 2.1 | Población de consorcio GIRSU

A lo largo de una segunda instancia, se han diseñado un conjunto de intervenciones no estructurales, a aplicar en el consorcio seleccionado. Las mismas se encuentran vinculadas al planeamiento y la gestión del sistema GIRSU diseñado.

Las medidas propuestas en esta etapa, establecen lineamientos relativos a:

- Normativa local: Regulación del sistema GIRSU, por medio de ordenanzas municipales y/o comunales.
- Canales de información.
- Generación de RSU: Promoción de la reducción progresiva del volumen de desechos generados.
- Política de separación inicial en cada domicilio: Residuos húmedo, secos y especiales.
- Procesamiento en origen: Promoción del compostaje doméstico.
- Disposición inicial de RSU: Implementación de contenedores plásticos diferenciados, en la vía pública.
- Recolección: Implementación de un sistema de caja fija (SCF).

- Transporte y transferencia: Traslado de los residuos recolectados hasta el complejo ambiental, previendo la continuidad del funcionamiento de la planta de recuperación existente en la localidad de San Carlos Centro.

Finalmente, la tercera instancia del proyecto refiere al diseño de las intervenciones estructurales, previéndose la ejecución y explotación de las obras civiles en dos etapas. La etapa 1 refiere a los primeros 10 años del período de diseño, siendo que la segunda responde a mejoras previstas para los últimos 10 años de la vida útil del complejo.

Se ha concretado el diseño de un complejo ambiental para un período de proyecto de 20 años, con una superficie total de 7,70 hectáreas.

Las obras proyectadas, se corresponden exclusivamente con la etapa:

- Instalación de recuperación de materiales (IRM): Se ha diseñado una planta, consistente en una nave industrial con una superficie cubierta de 483,76 m², así como también la operatoria y el funcionamiento de la misma.
- Relleno sanitario: Se ha diseñado el primer módulo de relleno sanitario con una superficie mayor de batea de 190,00 x 115,00 m. A su vez, se ha definido el sistema de drenaje de fondo, y el de control de gases por medio de chimeneas de evacuación.
- Sistema de tratamiento de lixiviados: Se ha proyectado un sistema consistente en una laguna anaeróbica y dos lagunas facultativas conectadas en serie, junto con una cámara de contacto para desinfección. El tratamiento permitiría obtener un efluente de alta calidad ($DBO_5 = 40 \text{ mg/l}$ – $N_eB = 0,42 \text{ Cf/100ml}$), previéndose su vertido en un canal pluvial, para su conducción hasta el Arroyo Colastiné.
- Obras complementarias: Se ha proyectado una oficina de administración, cocina para personal y sanitarios (obras accesibles para circulación con silla de ruedas), la infraestructura vial para la circulación dentro del complejo (enripado granular), obras de escurrimiento de aguas superficiales (zanjas de desagüe), garita de control y báscula de pesaje, cerco divisorio (tejido olímpico) y barrera forestal (Causarinas y Calistemos).

Mediante la presupuestación de las obras civiles diseñadas, se ha concluido que resulta necesario efectuar una inversión inicial **\$197.692.550,19** (Pesos, ciento noventa y siete millones, seiscientos noventa y dos mil, quinientos cincuenta; con diecinueve centavos), para la construcción de las mismas.

3. MARCO CONCEPTUAL

A lo largo de este proyecto, se trabaja aplicando una amplia gama de conceptos y términos vinculados a la Gestión de Residuos Sólidos generados en una urbe.

Previamente a dar inicio a su desarrollo, se considera pertinente introducir al lector en la temática de interés.

Debido a esto, en la presente unidad se confecciona el marco conceptual del proyecto en cuestión, que proporciona las definiciones y aspectos teóricos fundamentales para garantizar su adecuada comprensión.

3.1. Residuos Sólidos (RS)

A lo largo de este documento, se hace referencia a Residuos Sólidos o Desechos Sólidos de manera indistinta. Ambos términos refieren al mismo concepto.

Se entiende por Residuos Sólidos a los restos procedentes de actividades humanas y animales, o de la propia naturaleza, que son considerados por sus generadores como inútiles, indeseables o desechables. Esta definición abarca tanto las masas heterogéneas de desechos de comunidades urbanas, como las acumulaciones de desechos agrícolas, industriales y minerales. Los últimos, presentan características más homogéneas.

Los RS se encuentran generalmente en estado sólido, semisólido o semilíquido (es decir, con un contenido de líquido insuficiente como para posibilitar que el material pueda fluir libremente).

En lenguaje coloquial, los desechos sólidos son comúnmente llamados “Basura”.

3.1.1. Clasificación de Residuos Sólidos

Adoptando el principio definido en el Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (redactado por CEMPRE Uruguay, y basado en la edición de IPT y CEMPRE Brasil)* podemos clasificar a los RS siguiendo cuatro criterios distintos:

- Naturaleza Física
- Naturaleza Química
- Peligrosidad
- Reactividad
- Origen

* CEMPRE (Compromiso Empresarial para el Reciclaje) es una asociación civil sin fines de lucro, que tiene como objetivo promover la reducción y el reciclaje de residuos, a través de la generación y divulgación de conocimiento técnico-operativo en sistemas GIRSU.

3.1.1.1. Naturaleza Física

En relación a esta característica, es posible distinguir entre:

- Desechos secos. Por ejemplo: Papel, cartón, vidrio, plástico, goma, metales, etc.
- Desechos húmedos. Incluye residuos de cocina, jardines, de poda, de arbolado público, parques y plazas, entre otros.

3.1.1.2. Naturaleza Química

En función de su composición química, los RS pueden clasificarse en:

- Desechos Orgánicos. Pueden ser degradados por medio de procesos biológicos o térmicos, es decir, son susceptibles de ser sometidos a una valorización biológica o energética de los recursos contenidos en ellos.
- Desechos Inorgánicos. Debido a sus características, generalmente una parte de ellos puede ser reutilizados o reciclados mediante métodos físicos y mecánicos.

3.1.1.3. Peligrosidad

Según esta clasificación, los desechos se pueden diferenciar en dos grandes grupos:

- Residuos Peligrosos: Son aquellos que debido a su composición y características intrínsecas pueden presentar algún riesgo para la salud pública y el medio ambiente. Este tipo de desechos pueden ser inflamables, corrosivos, reactivos, tóxicos, patógenos, entre otras propiedades.

La exposición de las personas ante residuos peligrosos sin las debidas medidas de protección personal puede producir enfermedades e incluso causar la muerte. Y en el caso de consecuencias sobre el ambiente natural, provocar considerables daños y contaminación.

La Ley nacional número 24051 define: “Será considerado peligroso, a los efectos de esta ley, todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general [...] Quedan excluidos de los alcances de esta ley los residuos domiciliarios, los radiactivos y los derivados de las operaciones normales de los buques, los que se registrarán por leyes especiales y convenios internacionales vigentes en la materia”.

^[1] (Ley nacional 24051, 1991)

- Residuos no peligrosos: Son todos aquellos que no cuadran en el grupo anterior.

3.1.1.4. Reactividad

De acuerdo a su reactividad y degradabilidad, los RS pueden ser clasificados en:

- **Residuos inertes:** Son aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no son solubles ni combustibles, no reaccionan ni física ni químicamente, no son biodegradables, no afectan a los materiales con los que entran en contacto, tienen una emisión nula de lixiviados, y no suponen ningún riesgo para las aguas superficiales o subterráneas.
- **Residuos no-inertes:** Son aquellos desechos no incluidos en los dos grupos anteriores. Pueden tener propiedades como solubilidad en agua, combustibilidad y biodegradabilidad.

3.1.1.5. Origen

Dependiendo del lugar y los responsables de su generación, los desechos sólidos pueden ser clasificados en los siguientes grupos:

- ***Domiciliarios o Residenciales:*** Generados en residencias unifamiliares y multifamiliares y edificios de departamentos.
- ***Comerciales:*** Originados en establecimientos comerciales y de servicio tales como tiendas, restaurantes, mercados, edificios de oficinas, hoteles, moteles, escuelas, etc.
- ***Servicios Municipales:*** Originados por los servicios de higiene pública urbana, barrido de la vía pública, limpieza de playas, alcantarillado, limpieza de áreas de ferias, etc.
- ***Servicios de Salud:*** Producidos por hospitales, clínicas médicas, laboratorios, clínicas veterinarias, farmacias, etc.
- ***Puertos, aeropuertos, terminales de ómnibus y ferroviarias:*** Pueden incluir residuos potencialmente peligrosos que contengan gérmenes patógenos traídos desde el extranjero.
- ***Industriales:*** Originados por las actividades de la industria (metalúrgica, química, alimenticia, refinerías, etc.)
- ***Agrícolas:*** Incluye los restos de las actividades agrícolas y pecuarias, considerados como desechos.
- ***De la construcción y demolición:*** Son los residuos provenientes de acciones como de la construcción, reparación, demolición de obras civiles tanto públicas como privadas. Pueden citarse ejemplos tales como escombros y materiales pétreos,

tierra de excavaciones, residuos de envases y embalajes, etc. En general se trata de materiales inertes, susceptibles de ser revalorizados o reutilizados.

3.1.2. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

A los fines de este proyecto, para establecer adecuadamente el concepto de Residuos Sólidos Urbanos, resulta apropiado consultar la normativa legal existente en esta materia: “Se denominan Residuos Sólidos Urbanos (RSU) a aquellos elementos, objetos o sustancias que, como subproducto de los procesos de consumo domiciliario y del desarrollo de las actividades humanas, son desechados, con un contenido líquido insuficiente como para fluir libremente cuyo destino natural debería ser su adecuada disposición final, salvo que pudiera ser utilizado como insumo para otro proceso” ^[2] (*Ley provincial 13055, 2009*)

Otra definición válida para este término puede ser la siguiente: “Los residuos sólidos urbanos son todos los materiales que han sido desechados por la población, pudiendo estos ser de origen doméstico, comercial e institucional entre otros, y que excluyen a aquellos denominados como peligroso según la Ley Nacional 24.051 y sus decretos reglamentarios” . ^[3] (Dra. Ing. Susana Rivera Valdés, *Gestión de Residuos Sólidos: Técnica – Salud – Ambiente – Competencia, 2003*)

Como puede apreciarse, este concepto abarca desechos de la población de los centros urbanos, provenientes de distintas fuentes. Para el caso particular de los desechos sólidos originados en comercios, industrias, hospitales y similares, el término solo incluye a aquellos asimilables a residuos residenciales, no derivados de actividades especiales.

3.1.2.1. Composición de los RSU

Se denomina como composición física de los RSU a la descripción de los componentes individuales de los mismos y su distribución relativa, expresada de manera porcentual. Este término refiere a la cantidad de cada material, que es desechada luego de su utilización.

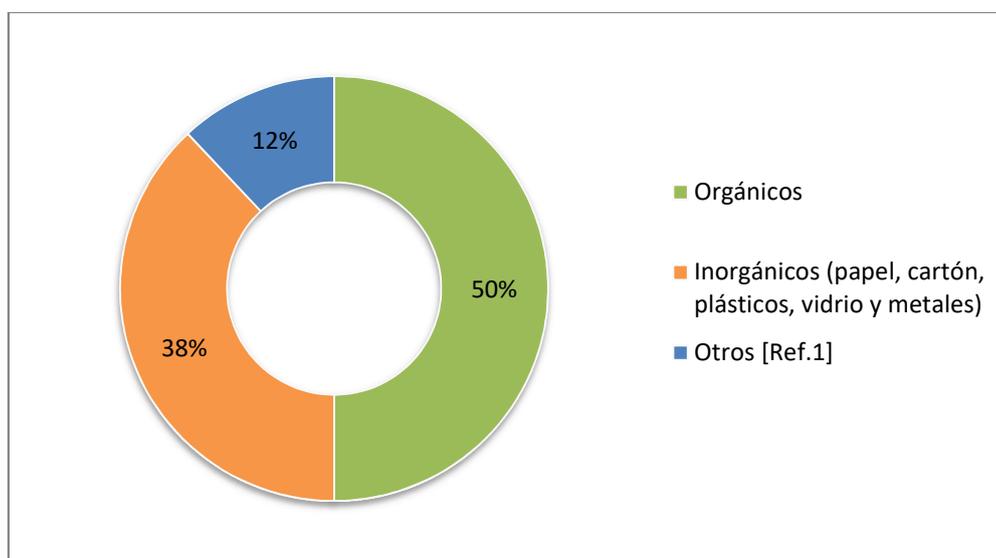
El conocimiento de la composición de los RSU resulta de vital importancia para la selección de equipos, sistemas, programas y planes de gestión.

En el relevamiento de datos estadísticos, resulta interesante conocer los porcentajes correspondientes a cada una de las fracciones constitutivas del volumen total de residuos. El desglose y nivel de detalle sobre cuáles son los componentes individuales que conforman a la masa total de RSU, dependerá principalmente de los procesos

adoptados en el sistema de gestión (categorías para separación en origen, clasificación empleada en plantas de recuperación, etc.).

3.1.2.2. Composición de los RSU en Argentina

En base a los datos obtenidos del “Proyecto Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos”, publicado en Julio de 2011 por el Observatorio Nacional de Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, se define a continuación la composición típica de los RSU en nuestro país.

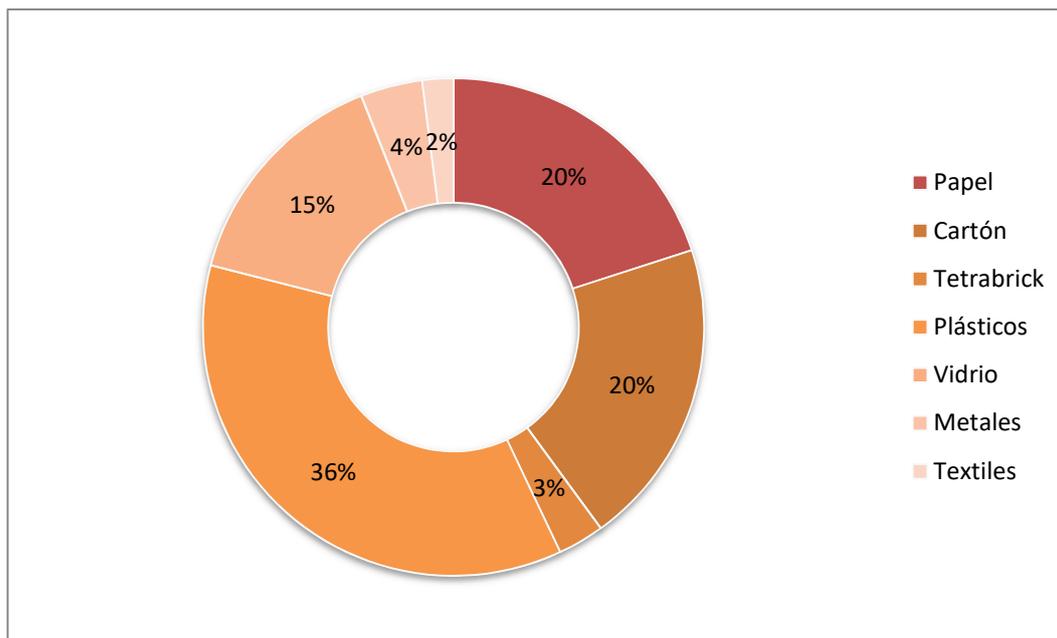


*Fuente: Elaboración propia, con datos de ENGIRSU y ORSU

Figura 3.1 | Composición de RSU en Argentina

[Ref.1] En esta fracción, se contemplan los residuos peligrosos que puedan ser originados en residencias o comercios e industrial (asimilables a los domiciliarios).

A su vez, a partir de la bibliografía consultada, es posible expresar de manera más desglosada la composición de la fracción inorgánica de residuos. En el siguiente gráfico, se han representado los porcentajes típicos para cada material. Los mismos, serán los adoptados a lo largo de este proyecto para llevar adelante los cálculos y diseños pertinentes.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2 | Composición de fracción inorgánica de RSU

3.1.2.3. Tasa de generación de residuos sólidos

Se define como tasa de generación de residuos sólidos a la estimación de las cantidades de desechos generadas dentro de la comunidad en estudio, por unidad de tiempo. Esta determinación es efectuada respecto a cada una de las categorías de residuos.

La estimación de las cantidades de RSU generalmente se expresa en unidad de residuos generados por persona por unidad de tiempo, a diferencia del caso de residuos industriales y agrícolas, los cuales suelen definirse en base a una unidad de producción.

La unidad de medida, que normalmente se emplea en los sistemas de gestión de residuos de nuestra región, es el kilogramo por habitante por día (Kg/hab/día).

Esta magnitud puede verse afectada por distintos factores:

- Reducción en origen y actividades de reciclaje (por ejemplo: reducción del volumen de residuos orgánicos por compostaje).
- Actitudes públicas y legislación (por ejemplo: debido al empleo de envases retornables).
- Factores físicos y geográficos (localización, características del arbolado público, barrido de calles, variación estacional y frecuencia de recolección).
- Nivel socioeconómico de la población, entre otros.

Es importante mencionar que esta tasa no suele ser estable en el tiempo, y en sociedades como las nuestras, suele incrementarse con los años. Esto constituye un factor a tener en consideración para el diseño y dimensionamiento de un sistema GIRSU.

En base a los registros estadísticos proporcionados por el observatorio nacional para la gestión de residuos sólidos urbanos, es posible afirmar que para el año 2010 se registraba (en promedio) una generación per cápita de RSU de 1,006(Kg/hab/día), para la provincia de Santa Fe. La variación anual de dicha tasa en la provincia se establece en 0,6%.

3.1.2.4. Tasa de recolección de residuos sólidos

Esta magnitud define cantidad total de residuos captados por el sistema formal de recolección de una localidad, para su transporte hacia alguna instalación de procesamiento y/o vertido final. En la práctica podría existir una diferencia entre el valor de la tasa de generación de RSU y la tasa de recolección. La misma oscila normalmente entre valores del 4% y el 15%.

Existen distintos factores que pueden justificar este resultado:

- Fermentación de materia orgánica (produce una reducción en su volumen).
- Desecho al sistema de alcantarillado.
- Donación a agencias de caridad.
- Venta a mercadillos.
- Recolección informal (recuperadores informales).
- Entrega a estaciones y centros de reciclaje.
- Reciclaje Doméstico.

3.2. **Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU)**

3.2.1. Definición

Bajo esta denominación se engloba al conjunto articulado de acciones normativas, operacionales, financieras y de planificación, que una administración municipal o comunal desarrolla basándose en criterios sanitarios, ambientales y económicos, para abordar la generación, recolección, procesamiento/tratamiento/valorización y disposición final adecuada de los residuos de su localidad.

Según indica el catedrático de la Ingeniería Civil y Ambiental, George Tchobanoglous, *“La gestión de residuos sólidos puede ser definida como la disciplina asociada al control de la generación, almacenamiento, recogida, transferencia y transporte, procesamiento*

y evacuación de residuos sólidos de una forma que armoniza con los mejores principios de la salud pública, de la economía, de la ingeniería de la conservación, de la estética, y de otras consideraciones ambientales, y que también responde a las expectativas públicas”. ^[3] (G. Tchobanoglous, H. Theisen y S. Vigil, *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*, 1994).

Como puede observarse, todo sistema GIRSU tiene como objetivos primordiales la preservación de la salud humana y la mejora en la calidad de vida de la población, así como también el cuidado del medio ambiente y la conservación de los recursos naturales. Para lograr alcanzar dichos objetivos, se requiere de un correcto diseño e implementación de medidas de intervención, desde la instancia de generación de desechos, en cada una de las etapas posteriores a la misma, y hasta su disposición final.

3.2.2. Elementos funcionales de un sistema GIRSU

Se concibe al concepto de gestión integral de residuos sólidos urbanos como un sistema integrado por un conjunto de cinco elementos funcionales:

- *Generación.*
- *Manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento en origen.*
- *Recolección, transporte y transferencia.*
- *Separación, procesamiento y transformación.*
- *Disposición final.*

3.3. Generación de residuos

Este elemento comprende al conjunto de actividades humanas que dan origen a la producción de RSU. En esta instancia, los materiales ya utilizados son identificados como carentes de valor adicional y son desechados.

Dentro del marco legal vigente en la actualidad en nuestro país, la Gestión de Residuos Domiciliarios es regulada por la Ley de Presupuestos Mínimos N°25916.

La mencionada legislación, denomina como *Generador* a toda persona física o jurídica que produzca residuos, entendiendo como tales al conjunto de objetos o sustancias que, como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, son desechados y/o abandonados. Todo generador está obligado a la realización del acopio y disposición inicial de los residuos, de acuerdo a las normas complementarias que establezca cada jurisdicción. ^[5]

De acuerdo a las características cualitativas y cuantitativas de los RSU, y a las condiciones de su generación, es posible distinguir entre:

- Generadores individuales: Son aquellos que no precisan de programas particulares de gestión.
- Generadores especiales: Son aquellos que producen residuos sólidos urbanos, bajo condiciones particulares, de forma que requieren de la aplicación de programas particulares de gestión. Los mencionados procesos, deben ser aprobados por las autoridades competentes en cada caso.

La reducción del volumen de desechos generados en origen, permite un incremento de la eficiencia en los restantes elementos funcionales. Para alcanzar este objetivo, resulta necesario el desarrollo de hábitos culturales y sociales, y la concientización de la población en relación a la temática. Por ello se suele recurrir al diseño de distintas medidas de intervención no estructural, como por ejemplo la promoción de campañas de educación. Sin embargo, el control en la generación de residuos por parte de los gestores de una GIRSU, resulta ser en la práctica una actividad estrechamente limitada.

Este elemento funcional del sistema de gestión, posee una notable incidencia sobre el diseño de las distintas instancias y procesos subsiguientes, ya que la tasa de generación antes mencionada es la base para determinar la demanda a la que estarán sujetos los tratamientos aplicados y la infraestructura específica. Como se ha puesto de manifiesto, resulta imprescindible conocer la población (número de habitantes) a la cual ha de referirse el volumen de generación de residuos. Consecuentemente, es necesario efectuar una caracterización demográfica del área de estudio.

3.3.1. Caracterización demográfica

Contar con un dato actualizado sobre la magnitud de la población involucrada en un sistema GIRSU, resulta ser un aspecto de gran importancia para este tipo de proyectos. En primer lugar, permite identificar al número de individuos que pueden ser beneficiados por cada una de las alternativas que se propongan. Por otro lado, el volumen (cantidad) de residuos sólidos urbanos producidos por una población, se desprende directamente de su número de habitantes. Este volumen es una magnitud fundamental para el diseño de las obras de infraestructuras requeridas para el procesamiento, tratamiento y disposición final de RSU.

La información demográfica siempre se presenta en forma de datos estadísticos, derivados de censos realizados por organismos oficiales. A partir de esta información de base, y por medio de la aplicación de distintos métodos de proyección, es posible conocer la población actual o futura de una localidad y/o área de estudio.

En el caso particular de este proyecto, se recurrirá al empleo de tres métodos post-censales de proyección poblacional.

Método de Extrapolación Lineal:

$$Y_i = Y_A \times (1 + nk) \quad (3.1)$$

Donde:

- Y_i = Población futura o estimada
- Y_A = Población del penúltimo censo
- n = Número de años para la estimación
- k = índice de crecimiento

$$k = \frac{\ln(Y_A - Y_a)}{t_A - t_a} \quad (3.2)$$

- Y_A = Población del último censo; t_A = fecha del último censo
- Y_a = Población del penúltimo censo; t_a = fecha del penúltimo censo

Buscando una mayor aproximación, con la intención de disminuir el efecto que un proceso estacional pueda tener entre dos datos censales consecutivos, se puede adoptar como índice del crecimiento al valor promedio obtenido entre:

$$k_1 = \frac{\ln(Y_A - Y_a)}{t_A - t_a} \quad (3.3)$$

$$k_2 = \frac{\ln(Y_A - Y_b)}{t_A - t_b} \quad (3.4)$$

- Y_b = Población del antepenúltimo censo; t_b = fecha del antepenúltimo censo

Método Geométrico:

$$\log Y_i = \log Y_A + (\log Y_A - \log Y_a) \frac{t_i - t_A}{t_A - t_a} \quad (3.5)$$

Donde:

- Y_i = Población futura o estimada; t_i = fecha futura (estimación)
- Y_A = Población del último censo; t_A = fecha del último censo
- Y_a = Población del penúltimo censo; t_a = fecha del penúltimo censo

Método aritmético:

$$Y_i = Y_A + (Y_A - Y_a) \frac{t_i - t_A}{t_A - t_a} \quad (3.6)$$

Donde:

- Y_i = Población futura o estimada; t_i = fecha futura (estimación)
- Y_A = Población del último censo; t_A = fecha del último censo
- Y_a = Población del penúltimo censo; t_a = fecha del penúltimo censo

Estos dos últimos métodos también pueden ser promediados en cada caso, haciendo uso del antepenúltimo censo registrado, con la misma intención expuesta para el primero.

3.4. Manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento de los residuos en el origen

La manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento de residuos sólidos en origen, constituyen el segundo de los seis elementos funcionales que definen a un sistema GIRSU.

Este elemento, puede tener un efecto considerable sobre las restantes instancias y procesos de gestión, sobre la salud pública y sobre las actitudes públicas respecto a los residuos.

La *manipulación* y la *separación* de los residuos, refieren al conjunto de actividades vinculadas a la gestión de los desechos hasta que los mismos son depositados en contenedores en la vía pública (*disposición inicial*), para su posterior recolección.

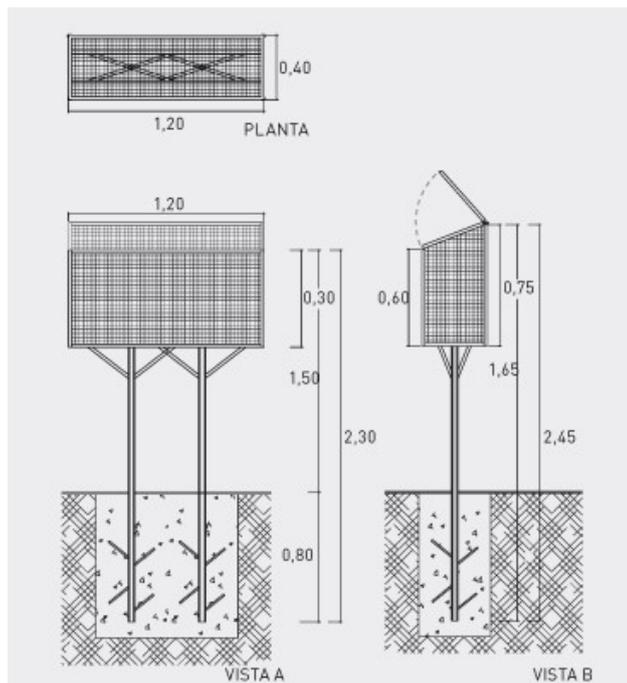
En esta instancia, se contempla también la separación de los residuos en el origen por parte del generador. Esta separación puede ser llevada adelante desde el punto de vista de las especificaciones de los materiales (cartón y papel, plástico, vidrio, etc.) o siguiendo criterios tales como la naturaleza física de los residuos (húmedos y sólidos). De esta forma, la disposición inicial en la vía pública puede ser general (sin clasificación y/o separación) o selectiva (con clasificación y separación).

La *separación* de los RSU en el punto de origen, es una de las formas más positivas y eficientes de lograr la recuperación de materiales valorizables, evitando la contaminación o la alteración de sus propiedades al ser mezclados con material de descarte. El empleo de políticas de separación de desechos en origen, implica también el diseño de un sistema de recolección diferenciada.

Para garantizar el éxito de este tipo de medidas, resulta fundamental contar con un adecuado programa y políticas de información, educación y concientización de la población.

El *almacenamiento* “in situ” de los desechos, posee un impacto directo sobre la salud pública, el ordenamiento urbano y la estética. La implementación de depósitos apropiados, es una responsabilidad del propietario de cada domicilio, es decir, del generador, quien también debe garantizar la adecuada disposición de los desechos en la vía pública, adecuándose a las normativas locales.

En muchas localidades como la ciudad de Santa Fe, cada domicilio dispone de un contenedor (cesto) particular en altura donde los vecinos depositan sus residuos sólidos contenidos en bolsas. En la siguiente imagen se ilustra el prototipo de cestos permitidos para dicha acción.



*Fuente: www.santafeciudad.gov.ar

Figura 3.3 | Modelo de cesto de residuos en altura

En otras localidades de nuestro país, como la ciudad de Rosario, los generadores de residuos deben transportar y depositar los mismos contenedores situados en la vía pública, cuyo uso está previsto para todos los residentes de la cuadra. Posteriormente, los grandes contenedores se vacían mecánicamente en vehículos de recogida equipados con mecanismos de descarga.



*Fuente: *Diario Cruz del Sur Web*, 02/07/2012

Figura 3.4 | Contenedores de RSU – Municipalidad de Rosario

En ciertas comunidades, los edificios en altura disponen de conductos verticales especialmente diseñados (normalmente circulares) con entradas en cada planta, donde los inquilinos colocan sus residuos (generalmente contenidos en bolsas). Los residuos evacuados por los conductos son recogidos en grandes contenedores, los cuales luego son vaciados por el servicio de recolección y cargados en el vehículo correspondiente.

Independientemente del sistema de almacenamiento de los RSU que se adopte, debe considerarse que su inadecuado diseño y dimensionamiento produce diversos efectos sobre los componentes que contienen (los residuos), viéndose alteradas sus características:

- **Descomposición microbiológica:** La presencia de desechos orgánicos (como restos de alimentos) en los residuos sólidos acopiados en los contenedores, da lugar al crecimiento de bacterias y hongos que producen su descomposición. Este proceso, a menudo llamado “putrefacción”, puede favorecer a la proliferación de insectos como moscas.
- **Absorción de fluidos:** Cuando los residuos son dispuestos en los contenedores in situ, poseen inicialmente contenidos de humedad distintos. Mientras estos permanecen acopiados, se produce un equilibrio en los niveles de humedad. En aquellos casos en que no se adopta una política de separación de residuos en origen, los desechos secos y recuperables tales como papel y cartón, absorben progresivamente la humedad de los desechos de alimentos y otros como restos de tareas de poda. El grado de absorción que tiene lugar depende del tiempo en que los residuos son almacenados hasta su recolección. Este proceso, reduce la cantidad de materiales que podrán ser recuperados en otras instancias de la gestión.
Este factor también puede verse influido por las características propias de los contenedores empleados. Si no se utilizan depósitos con tapas a prueba de agua, las precipitaciones pluviales podrán alterar el contenido de humedad de los RSU, pudiendo en algunos casos incluso alcanzarse la saturación de los mismos.
- **Contaminación de los componentes:** La presencia de ciertos materiales como aceites, pinturas y productos químicos de limpieza, entre otros, pueden producir la contaminación de los componentes valorizables presentes entre los residuos almacenados en origen. El efecto de esta contaminación es la reducción del valor de los componentes individuales para el reciclaje.

Debido a que los RSU son generados en comunidades donde se desarrollan actividades cotidianas (que generan a diario más residuos de forma consistente) y en general se dispone de un espacio limitado para su almacenamiento, el mismo puede tener un rol considerable en la salud pública y la estética.

En relación a la salud pública, la mayor incidencia viene dada por la proliferación de alimañas e insectos que frecuentemente sirven como vectores sanitarios. Si las condiciones de almacenamiento no son apropiadas, fácilmente puede tener lugar la presencia de roedores, moscas y mosquitos. Las medidas a aplicar para regular este factor, normalmente consisten en el empleo de contenedores con tapas ajustadas, bolsas plásticas impermeables, cestos de basura elevados del suelo, una higiene correcta de los contenedores y la zona de almacenamiento. La adecuada coordinación y funcionamiento del sistema de recolección, también desempeña un papel importante, debiendo garantizar que los materiales biodegradables no permanezcan tiempos prolongados en los contenedores de la vía pública.

Por otro lado, las condiciones estéticas están relacionadas con la producción de olores desagradables, y a la falta de un mantenimiento apropiado de la zona de depósito de los residuos en la vía pública.

Finalmente, el procesamiento de los residuos sólidos urbanos en el origen tiene como objetivo la reducción del volumen de desechos y la alteración de la forma física de los mismos. Existen distintas modalidades que pueden ser adoptadas para tal fin, entre ellas actividades tales como la *compactación de residuos* y el *compostaje* domiciliario de materiales orgánicos.

“Se da el nombre de compostaje al proceso biológico de descomposición de la materia orgánica contenida en los restos de origen animal o vegetal. El resultado final de este proceso es un producto que se puede aplicar al suelo para mejorar sus características, sin causar riesgos al medio ambiente”.^[6] (*Residuos Sólidos Urbanos: Manual de Gestión Integral, 1998*)

Se define como *compostaje doméstico*, a las técnicas y tareas aplicadas para llevar adelante el proceso descrito, en el punto de generación de los residuos urbanos. Se trata de una modalidad que permite reducir en cierta medida el volumen, y alterar la composición física de los residuos sólidos que son captados por los vehículos de recolección. Al mismo tiempo, se obtiene un subproducto útil como abono.

Algunos desechos que pueden ser sometidos a este proceso son: restos de alimentos, residuos de jardín, hojas, recortes de césped, bustos, tocones y maderas astilladas. El método más sencillo, consiste en el acopio del material en una pila (dentro

de una unidad apropiada), regándola ocasionalmente y volteándola para garantizar la oxigenación y una homogénea distribución de la humedad. En la actualidad, pueden encontrarse en el mercado diversos diseños de unidades prefabricadas y aditivos que facilitan y mejoran los resultados de este tipo de procesos.

Este tipo de procesamiento puede ser fomentado por medio de campañas de información y educación, sin embargo, el grado de aceptación efectiva por parte de la población variará en cada caso y no puede ser previsto con gran precisión. Su efectividad dependerá exclusivamente de la voluntad de los generadores de RSU.

El impacto del compostaje doméstico en la problemática global de los residuos sólidos, al no tratarse de una modalidad plenamente difundida en las sociedades, es relativamente pequeño.

En países como los Estados Unidos, en los últimos años, el uso de trituradoras de cocina para los restos de alimentos ha ganado una amplia aceptación. Funcionalmente, estos dispositivos procesan a los residuos orgánicos, permitiendo su vertido en el sistema de alcantarillado público. Cabe destacar que el incremento de la carga orgánica que el empleo masivo de este tipo de mecanismos implica, debe ser tenido en consideración en el diseño de los procesos de tratamiento de las aguas residuales de la población. En muchas localidades, su utilización ha generado sobrecargas importantes en las instalaciones de tratamiento, debiendo ser prohibido. Por esta razón, el beneficio de esta modalidad es ampliamente discutido en la actualidad.

La *compactación* de los residuos en origen, es otra modalidad de procesamiento que puede ser incorporada en el diseño de un sistema GRSU. Sin embargo, esta técnica puede llegar a ser contraproducente para el desarrollo de otras operaciones de procesamiento. En los casos en que se proyecta el diseño de una planta “IRM” (detalladas más adelante) para la selección y recuperación de materiales, si los residuos han sido previamente compactados, se dificultan las tareas de separación. Por otro lado, si no se emplea una política de separación en origen, la compactación puede generar la absorción de fluidos en papeles y cartones, perdiéndose toda posibilidad de recuperación.

En el mercado, se pueden adquirir una gran variedad de unidades domésticas de compactación. Estos dispositivos son diseñados principalmente para el procesamiento de papel suelto y ondulado, y permiten reducir el volumen original de residuos en porcentajes que oscilan entre el 70 y el 100%.

Dependiendo de las características propias del sistema de recogida, las tareas de *manipulación* presentarán diferencias, quedando comprendidas en las definiciones presentadas a continuación dentro de la “recolección”.

3.5. Recolección, transporte y transferencia

Se entiende por *recolección* al conjunto de acciones que comprende el acopio y carga de residuos desde los puntos de disposición inicial en la vía pública a los vehículos recolectores.

Dependiendo de la modalidad empleada para la disposición inicial, puede efectuarse una recolección selectiva, discriminando por tipo de residuo. El empleo de intervenciones no estructurales tales como una recolección diferenciada, facilitan y optimizan las tareas posteriores de tratamiento y valoración.

En la República Argentina, cada municipio o comuna es responsable del mantenimiento de la higiene urbana, el barrido de la vía pública y la recolección de los residuos domiciliarios.

En el diseño del servicio de recolección se debe apuntar hacia la universalidad en la prestación, es decir, se debe buscar atender a la totalidad de los miembros de una comunidad. Es importante también la frecuencia de la recolección, realizándose las tareas en función a sitios, días y horarios preestablecidos.

Cabe recordar que, de acuerdo a lo definido por la legislación vigente, los denominados Residuos Peligrosos (por ejemplo, los derivados del tratamiento de pacientes en clínicas y hospitales) no son contemplados en bajo el término de RSU, debiendo contar con un servicio de recolección particular. En esta instancia, es fundamental el papel de la fiscalización por parte las autoridades competentes de cada localidad.

Por otro lado, el transporte implica el traslado de los desechos en los vehículos de recolección, hasta el siguiente punto de gestión dentro del sistema. Este lugar puede consistir en una estación de “transferencia”, una instalación para el recupero y procesamiento de materiales, o un sitio de “disposición final”.

La recolección y traslado de los residuos urbanos a las instalaciones de tratamiento o a las áreas de vertido, son tareas muy visibles para la población. A su vez, poseen una importancia considerable en el control del desarrollo de vectores y el saneamiento público.

3.5.1. Clasificación de los servicios de recolección de RSU

A los fines del presente proyecto, y siguiendo la línea empleada en la bibliografía consultada, se definen tres tipos de servicio de recolección de residuos sólidos urbanos:

- Recolección convencional: Se realiza sin clasificación y selección de las fracciones componentes de RSU. Refiere a la recogida de los residuos sólidos mezclados, provenientes de domicilios particulares, sitios públicos (calles, playas), mercados, establecimientos comerciales e instalaciones industriales (solo los asimilables a residuos domiciliarios, no derivados de procesos productivos).

Frecuentemente, a partir del planeamiento de un sistema GIRSU, se suele definir en las legislaciones municipales y comunales un volumen máximo admitido para los residuos que pueden ser abarcados en este servicio. Los generadores deberán amoldarse a las regulaciones que se establezcan. Cuando debido a las actividades desarrolladas, los volúmenes mencionados son superados, generalmente el generador es responsable de su traslado a las zonas de procesamiento y depósito final.

- Recolección selectiva o diferenciada: Esta modalidad se encuentra asociada a las políticas de separación en origen. Cuando las mismas son llevadas adelante, se recogen de forma diferenciada (por ejemplo, en días y horarios distintos) las distintas fracciones componentes de la masa total de RSU.
- Recolección especial: Este servicio contempla los desechos urbanos producidos por generadores especiales. Incluye escombros, animales muertos, restos de poda de arbolado, entre otros.

Con respecto a su planeamiento, se puede definir una recolección regular (cuando la frecuencia y volúmenes de residuos generados lo ameriten) o programada, para aquellos casos puntuales en que sea necesaria.

3.5.2. Clasificación de los sistemas de recolección de RSU

Tomando al modo de operación como criterio de clasificación, es posible diferenciar entre dos tipos de sistemas para la recolección de RSU:

- Sistemas de contenedores (SC): Se emplean contenedores para el almacenamiento de los residuos en origen. Los mismos son transportados al lugar de evacuación (planta de procesamiento o área de vertido), vaciados y devueltos al punto de recolección.
- Sistemas de caja fija (SCF): Los residuos son tomados de los contenedores en los puntos de recolección, y estos últimos permanecen en el mismo sin ser trasladados.

En el Anexo 01, se describen con mayor detalle ambos sistemas de recolección mencionados.

3.5.3. Transporte y transferencia

Cuando las distancias entre los puntos de recolección y las instalaciones empleadas para el manejo de los residuos así lo ameriten, se pueden establecer puntos de trasbordo de los RSU.

“En el campo de la gestión de residuos sólidos, el elemento funcional de transferencia y transporte se refiere a los medios, instalaciones y accesorios utilizados para efectuar la transferencia de residuos desde un lugar a otro, normalmente más distante” ^[4] (G. Tchobanoglous et al., 1994).

En aquellos casos en que la distancia se torna excesivamente grande, los costos de transporte directo se elevan tanto que el mismo ya no resulta económicamente factible. En su libro “Gestión Integral de Residuos Sólido Urbano”, el Ingeniero G. Tchobanoglous indica que para distancias superiores a los 16(Km) entre la ruta de recogida de RS y el punto de vertido, la existencia de una instancia de transferencia se vuelve una alternativa tentadora. No se establece un límite superior general, si no un valor a partir de cuál puede ser conveniente la definición de esta etapa del sistema GIRSU, dependiendo de las características particulares de cada caso de estudio. Como antecedente nacional, estudios realizados por la Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) respecto a la capital federal del país y localidades cercanas a la misma, en la provincia de Buenos Aires se pautan distancias propicias entre los 20 y 40(Km).

La transferencia también puede referir a aquellos casos en que se disponga de IRM situadas en un lugar geográfico distinto al sitio previsto para la disposición final de la fracción no recuperable, siendo necesario realizar tareas de transporte hasta la zona de vertido.

La presencia o ausencia de este elemento dentro de un sistema GIRSU, dependerá entonces del factor distancias y la secuencia de procesos adoptados en cada caso. El mismo puede ser desglosado en dos pasos:

- Transferencia de residuos desde el vehículo de recolección a un equipo de transporte de mayor porte o a un sitio de almacenamiento transitorio.
- Transporte de los RSU desde la estación de transferencia hacia un lugar o instalación de procesamiento o disposición final.

Cuando resulte necesario efectuar tareas de transferencia, se debe prever la presencia de estaciones especialmente destinadas para tal fin. Cabe destacar que, en algunos casos, las tareas de recuperación de materiales se realizan en una misma instalación, que funciona simultáneamente como IRM y estación de transferencia.

De acuerdo al método empleado para descargar los vehículos recolectores y cargar los destinados a la nueva instancia de transporte, se puede distinguir entre tres clases de estaciones:

- Estaciones de transferencia de carga directa: Los residuos, contenidos en los camiones recolectores, son vertidos de forma directa en el vehículo empleado para transportarlos al siguiente sitio previsto.
En estas estaciones, también es posible combinar las tareas de separación y transferencia. Los camiones recolectores vierten su contenido en un muelle de descarga, se clasifican y retiran los materiales recuperables, e inmediatamente se carga la fracción de descarte en los camiones de transporte.
- Estaciones de transferencia de almacenamiento y carga: Los vehículos recolectores vacían su contenido en una fosa de almacenamiento. Alcanzada la capacidad de almacenamiento de diseño, se procede a la carga los desechos en los vehículos que los transportaran a la próxima etapa del sistema de Gestión. Para realizar esta tarea, resulta necesario contar con un equipamiento mecánico apropiado en la instalación.

- Estaciones de transferencia combinada de carga directa y descarga-carga: Se trata de estaciones polivalentes, que sirven a una amplia gama de usuarios. De esta manera, coexisten los sistemas de carga directa y descarga-carga, en una misma estación.

3.6. Separación, procesamiento y transformación

Este elemento funcional del sistema GIRSU se puede definir como el conjunto de operaciones, técnicas y equipos, empleados para la recuperación de materiales y el acondicionamiento de los residuos, en vistas a su reaprovechamiento, reciclaje y/o valorización. Puede incluir procesos de distintos tipos: físicos, químicos, biológicos, mecánicos, térmicos.

La separación y procesamiento adicional de residuos que han sido previamente clasificados en origen, así como el manejo de residuos que normalmente no se seleccionan para su reutilización o reventa, se produce normalmente en *Instalaciones de Recuperación de Materiales*, las ya nombradas IRM.

Estas instalaciones también pueden incluir funciones de transformación de las propiedades de los RSU (tratadas más adelante en esta unidad) para la adecuación de los mismos a una disposición final más práctica y responsable.



*Fuente: El Federal web, 11/04/2019

Figura 3.5 | IRM de la empresa CEAMSE, Ciudad Autónoma de Buenos Aires

3.6.1. Centros de Recolección Selectiva y Reventa

Estos espacios, de administración pública o privada, procuran la reincorporación al mercado y a los procesos industriales de la fracción de RSU considerada útil para:

- Reutilización Directa (Para su función original o alguna relacionada).
- Materia prima de fabricación o procesamiento (Aluminio, papel, cartón, plásticos, vidrios, hierro, textiles).
- Materia prima de productos de bioconversión (Residuos de jardín, de poda, alimentos).
- Fuente de combustible (Residuos de poda, madera, papel y aceites residuales, neumáticos).
- Restauración de inmuebles (Productos de tareas constructivas y de demolición).

Los *Centros de Recolección Selectiva*, adquieren los residuos por medio de un sistema de recolección diferenciada en puntos especiales del tejido urbano o “puntos verdes” (que pueden ser unimateriales o multimateriales con almacenamiento diferencial). En este caso, los habitantes de la localidad son una parte activa del sistema y su nivel de participación dependerá de múltiples factores como la conveniencia de la ubicación geográfica de los puntos de recolección, campañas de concientización, la posibilidad de realizar donaciones y demás. Por otro lado, los *Centros de Reventa* adquieren los RSU mediante el traslado de los mismos por parte de los propios habitantes de la comunidad. A cambio de su participación, estos últimos reciben un incentivo monetario. En ambos casos, el centro puede formar parte de la IRM local.

3.6.2. Instalación de Recuperación de Materiales (IRM)

En primera instancia, una IRM cumple con la función de procesamiento de RSU separados en origen, así como de RSU no seleccionados para su reutilización; en especial, de la fracción inorgánica de éstos.

En ella, se reciben los residuos y se procede a su clasificación con un grado de detalle determinado (cantidad de componentes que se separan y recuperan), según las posibilidades de tratamiento posterior y de re inserción en el mercado productivo.

Dicha separación generalmente se realiza de forma manual, con asistencia de cintas transportadoras sin fin. El ancho y largo de la cinta debe ser suficiente para alojar el volumen de residuo esperado a razón del personal disponible, y debe recorrer la IRM a

una velocidad práctica para que dichos operarios puedan realizar la separación y el volcado de los RSU sobre las bateas o contenedores que se alojen debajo.

Ejemplos de separación de RSU según sus características de reciclaje y/o tratamientos posteriores son entre distintos tipos de papeles, de papel y cartón, de aluminio en hojalata y aluminio en latas, de colores de vidrio, de tipos de plásticos, etc.



**Fuente: Web de Desarrollo de Equipos Industriales S.A., 25/07/2018*

Figura 3.6 | Cinta transportadora y contenedores de separación.

IRM en la ciudad de Tafí Viejo, provincia de Tucumán

Los RSU no seleccionados para su reutilización pueden comprender desechos que requieren tratamientos específicos, los que son separados para tal fin y según el tipo de exigencia reglamentaria aplicable a cada caso. Esto contempla la segunda función descrita para una IRM, responder al proceso de transformación de residuos mediante los tratamientos necesarios para lograr una mejora en su calidad (especificaciones y propiedades según resulten beneficiosas o prácticas para su disposición final en el medio).

3.6.3. Transformación

Los procesos de transformación incluyen tanto el reducir el volumen y el peso de los desechos a evacuar finalmente, como la recuperación (imposible sin tratamiento) de recursos y productos contenidos en los mismos, para ser valorizados e incorporados como insumos en nuevas cadenas productivas.

3.6.3.1. Tratamientos Físicos

De la amplia variedad de tratamientos que pueden incluirse en una IRM, se introducen en este marco conceptual los tres generalmente más utilizados:

Trituración y Cribado:

Tanto la trituración como el cribado buscan obtener de los residuos un producto uniforme y manejable, que pueda tener o alcanzar un tamaño reducido de cara a la realización de otras tareas de tratamientos y de transporte. Ambos procesos unitarios requieren el uso de maquinarias específicas en las instalaciones, que puedan procesar materiales específicos (trituradores, trituradores de vidrio, trituradores de madera, etc.).



**Fuente: Radio Ambiente Web, 17/01/2019*

**Figura 3.7 | Trituradora preparando RSU para la elaboración de combustible.
Ciudad de Rosario, Provincia de Santa Fe**

Las trituradoras constan, en líneas generales, de un equipo capaz de recibir el residuo y devastarlo mecánicamente hasta cierto tamaño, mediante aplastamiento y corte, a través de piezas como molinos de rodillos dentados. Las cribadoras pueden incluir un componente mecánico similar, pero contienen un mecanismo de filtrado por rejillas o

mallas internas, que mediante presión o movimiento ajustan el tamaño del material pasante, logrando separarlo.



*Fuente: www.buenosaires.gov.ar

Figura 3.8 | Cinta pequeña para recuperación de PET. CABA, provincia de Bs. As.

Densificación:

La densificación o *Compactación*, por otro lado, busca obtener de los residuos un producto más denso, que pueda ser transportado y almacenado más eficazmente, o que sirva como un medio para preparar combustible derivado de residuos densificados.

Son equipos de densificación las prensas compactadoras, prensas de latas, las embaladoras y todos aquellos que permitan, por aplastamiento y acomodamiento, disponer los RSU en unidades densas de volumen definido, que aumenten tanto el rendimiento de los equipos de transporte como del espacio disponible en las instalaciones de disposición final.



*Fuente: *El diario 24 web*, 19/01/2013

Figura 3.9 | Enfardadora para cartón y papel, ciudad de Córdoba capital.

3.6.3.2. Tratamientos Biológicos

Junto a los tratamientos químicos, son los procesos diseñados para valorizar la fracción orgánica de los desechos, logrando además una reducción del impacto negativo que este tipo de residuos pueden generar en su disposición final.

Estos procesos mediados por microorganismos, pueden llevarse a cabo a través de dos tipos de metabolismos biológicos: en presencia de oxígeno o *aeróbicos* (como el compostaje) y en ausencia de oxígeno o *anaeróbicos* (como es a través de la biodigestión). Con el primero, se puede lograr una reducción de hasta el 50% en volumen del material inicialmente compostado, obteniendo un abono orgánico estabilizado que admite diferentes usos según su calidad. Con el segundo, el resultado incluye también la producción de biogás para energía.

Los microorganismos aeróbicos son aquellos que poseen un metabolismo respiratorio, consumiendo oxígeno del ambiente para obtener energía y alimentarse de los residuos, logrando así reproducirse. Los organismos anaeróbicos son aquellos que poseen un metabolismo fermentativo, produciendo energía propia de su alimentación para el desarrollo biológico.

Los principios biológicos que rigen a ambos tratamientos son los mismos: Contener los residuos en un ambiente bajo condiciones controladas, que fomenten el crecimiento de grupos de microorganismos que, acorde a su metabolismo, se alimenten de la materia orgánica contenida en los desechos.

Los principales tipos de microorganismo que forman parte de un tratamiento biológico son las bacterias, hongos, levaduras y actinomicetos, siendo las primeras las que tienen la principal actuación. Su crecimiento se fomenta con un espacio adecuado a sus necesidades metabólicas en temperatura, humedad, concentraciones de materia orgánica y pH, entre otros.

A fin de optimizar los recursos disponibles para la GIRSU, sería muy importante considerar, dentro del mismo predio donde se encuentre emplazada la IRM, un sector destinado a alguno de estos procesos, alimentándolo con la fracción orgánica de los RSU separada en origen, con la fracción húmeda de RSU que haya sido procesada en la instalación y con la adición o no de fangos orgánicos producto del tratamiento cloacal. La elección entre cada uno dependerá de las características de los residuos, las de la instalación para Disposición Final, y las necesidades de la/s localidad/es que gestionen los RSU (puesto a que cada tratamiento implica un producto final distinto).

que requiere de un régimen de alimentación constante y condiciones estables para su mejor optimización, esto es, la corriente de residuos a ingresar en el sistema debe ser lo más homogénea posible y de propiedades que se mantengan en el tiempo (lo cual es poco probable recurriendo sólo la fracción orgánica de los RSU más comunes, sin el aporte de, por ejemplo, fangos producidos en el tratamiento cloacal). Si bien se trata de un proceso más delicado, que requiere más inversión en infraestructura, su capacidad de procesar grandes cantidades de residuos orgánicos (con bajo requerimiento de terreno para su aplicación) y el rédito económico del biogás, lo posicionan en una opción favorable ante el compostaje en aquellas situaciones donde sea viable.



**Fuente: Agencia de noticias San Luís web, 10/01/2017*

Figura 3.11 | Biodigestores FORSU (fracción orgánica de RSU), ciudad de Carpintería, provincia de San Luís.

3.7. Disposición Final o Evacuación

Este es el último de los elementos funcionales de un sistema GIRSU. Refiere al conjunto de tareas realizadas para el depósito de forma permanente de los RSU recogidos y transportados directamente al lugar de vertido y/o de los materiales residuales (rechazos) de las IRM y otros procesos que hayan sido empleados con anterioridad. En esta instancia, se pueden contemplar las etapas de construcción, operación, clausura y post-clausura de las obras de disposición final.

Existen distintas situaciones observables ante la evacuación de residuos. Según la bibliografía y normativas específicas en el tema, se distinguen tres casos explicados a continuación.

3.7.1. Disposición en Basural a Cielo Abierto (BCA)

El BCA, vertedero no controlado o simplemente “basural”, es una forma de disposición final de RSU (que en la realidad no constituye una solución al problema de gestión de desechos sólidos, siendo inviable técnica, legal y ambientalmente), caracterizada por la simple descarga de los residuos sobre el terreno, sin medidas de protección para el medio ambiente o la salud pública.

Genera problemas sanitarios que afectan la salud y el confort de las personas cercanas a su locación, como lo son los malos olores, la transmisión de enfermedades por vectores (moscas, mosquitos, ratas, etc.), proliferación de plagas y alimañas. A su vez son proclives de auto-combustión bajo determinadas condiciones, o son objeto de fuego intencional como operación de control de volumen y recuperación de ciertos materiales, generando humaredas que, además de resultar molestas para la salud, pueden provocar accidentes en cercanías a las rutas y caminos.

Tampoco ofrece ninguna barrera a los problemas de contaminación ambiental generados por el inadecuado vertido de los RSU, deteriorando la calidad del aire, de las aguas superficiales y subterráneas, degradando el suelo y el paisaje.

Este tipo de vertido constituye la situación más primitiva (lamentablemente, muy común en la actualidad) para disponer los RSU de una localidad dada.

3.7.2. Disposición en Relleno Semi-controlado

El Relleno Semi-controlado es una metodología de disposición de los RSU que busca minimizar los daños o riesgos a la salud y a la seguridad de la ciudadanía, reduciendo también los impactos ambientales indeseables en cierta medida.

Comprende una solución técnica, ya que utiliza principios de ingeniería para aislar los residuos superficialmente, cubriéndolos con una capa de material inerte al concluir cada jornada de trabajo. Se delimitan así unidades espaciales llamadas *Celdas de Residuos*, y la forma de agruparlas en el espacio delimitado para el relleno implica una organización que elimina las dificultades operacionales mencionadas en el caso anterior, no controlado.

Sin embargo, como el Relleno Semi-controlado supone una inversión reducida en infraestructura dedicada a la GIRSU, abarcando generalmente sólo un cerco perimetral y una ocasional casilla de control, al tiempo de que no suele disponer de soluciones técnicas a los problemas de contaminación ambiental; careciendo, por ejemplo, de impermeabilización en su base (comprometiendo la calidad de las aguas subterráneas) y de sistemas de tratamiento de lixiviado o de dispersión de gases generados. Constituye entonces una solución precaria y/o provisoria.

3.7.3. Disposición en Relleno Controlado o Sanitario

El Relleno Sanitario es una obra de infraestructura civil que comprende la totalidad de las soluciones técnicas, basadas en principios de ingeniería, que se encuentran establecidas en las normas vigentes para dar disposición final a los RSU. A nivel nacional, esta metodología es reconocida y propuesta para dar destino final a los residuos a través de la ley de Presupuestos Mínimos en GIRSD N°25916. En el caso de la provincia de Santa Fe, lo regula la Ley N°13055 de Basura Cero y la resolución 128/04. Todos casos que son atendidos con posterioridad, en el marco normativo del proyecto.

Al igual que el relleno semi-controlado, procura la delimitación de un espacio donde disponer Celdas de Residuos, siguiendo un método de vertido determinado; pero incluye además las instalaciones y estructura necesarias para la eliminación responsable de las problemáticas ambientales.

Distancia de Transporte

Es una de las variables técnicas más importantes. Su magnitud incide directamente en la operación del relleno, y sus costos asociados. Se busca minimizarla, pero siempre adaptándose al resto de los factores.

Restricciones en la Localización

Este factor incluye la suma de regulaciones legales expresas, que limitan la localización del relleno, definiendo distancias mínimas a respetar respecto a puntos de interés (aeropuertos, rutas, etc.). Están basadas en experiencia y valoración técnica, pero su uso no debe eximir al criterio profesional de considerar otros factores.

Disponibilidad de Terreno

Este es el factor de mayor limitación para las comunidades de gran desarrollo urbano, ya que el espacio requerido depende también del estudio del crecimiento urbano, para no sesgar el desarrollo de un área determinada de la urbe. La extensión del terreno necesario se determina en función del volumen de RSU estimado para la generación, durante el tiempo de servicio adoptado. Se recomienda que las obras no sean diseñadas para un período de diseño inferior a los cinco años de operación. Generalmente, extensiones más reducidas (tiempos de servicio más cortos) devienen en obras muy costosas, en relación a su beneficio.

Acceso al Lugar

Se trata de un factor determinante en situaciones donde la disponibilidad de terreno es escasa, y debe recurrirse a un emplazamiento suburbano donde haya inexistencia de infraestructura. La operación del relleno debe garantizarse a pesar de las inclemencias temporales.

Condiciones de Suelo y Topografía

La caracterización física, tanto del suelo de emplazamiento como del suelo utilizado para la operación del relleno (en las tareas de cobertura descritas más adelante) son fundamentales. Se restringe la localización de la obra donde no haya oferta de un material con el retardo hidrológico adecuado para un escurrimiento. Un buen ejemplo de ponderación de este factor corresponde a la clasificación agro-técnica del suelo.

Condiciones Climatológicas

Este factor engloba a la clasificación climática de la localidad y a todas las variables técnico-ambientales, que influyen sobre el diseño del relleno sanitario. Las mismas deben ser puestas a consideración, para la correcta localización del mismo. A modo de ejemplo, se lista un conjunto de características de interés.

- *Temperatura y Humedad:* Son las variables más influyentes en los procesos químicos, tanto los llevados a cabo por los RSU dentro del relleno como los pertenecientes a los tratamientos de origen biológico implementados.
- *Vientos:* En meteorología se denomina como “vientos preponderantes” a aquellos que soplan predominantemente desde una sola dirección general, sobre un punto particular de la superficie terrestre. Por otro lado, se emplea el término de “vientos dominantes” para referir a las tendencias en la dirección del viento con la velocidad más alta, sobre un punto particular del planeta. En este proyecto, se considera de particular importancia a los vientos preponderantes, que definen la dirección que tomarán (al dispersarse en la atmósfera) los gases emanados del relleno sanitario, así como también las partículas originadas por las tareas de movimiento de suelos.
- *Régimen de Precipitaciones:* Refiere al comportamiento de las lluvias a lo largo del año, otorgando certidumbre sobre el monto de agua precipitada en torno a un monto esperado de eventos climatológicos. Es información estadística valiosa para contabilizar la cantidad de agua que filtrará por el relleno.

Condiciones Hidrológicas

La identificación de cuencas locales y cursos superficiales de agua, es fundamental para la correcta caracterización del drenaje natural y la escorrentía, existentes en los potenciales puntos de ubicación del relleno. Esto resulta igualmente válido en la caracterización del flujo de aguas subterráneas. Respecto a las mismas, resulta de fundamental importancia el conocimiento del nivel freático, que limita las opciones de localización, al tener incidencia directa (como se detalla más adelante) en las restricciones legales y el tipo de método utilizado para emplazar el relleno.

El lugar seleccionado para la disposición final de los RSU, debe minimizar el riesgo de impactos negativos para los cursos de agua dulce existentes en la zona. Es indispensable

evitar el emplazamiento en zonas propensas al anegamiento (en regímenes de, por ejemplo, 100 años).

Condiciones Geológicas e Hidrogeológicas

Además de la caracterización del suelo superficial para la fundación y operación del relleno, deben tenerse en cuenta las variables físicas del suelo en profundidad. De esta manera se busca garantizar una localización de la obra de vertido, que no implique problemas de asentamientos o filtraciones. Puede estudiarse este factor en tres escalas distintas:

- *Formaciones Geológicas:* Entendiendo como tales a conjuntos de estratos de suelo sensiblemente distinguibles entre sí, por su composición y estructura, pero que pueden ser asociados a un fenómeno o mecanismo geológico común al cual se le adjudica el origen del suelo.
- *Estudios Geofísicos y Yacimientos:* La realidad heterogénea del suelo hace necesario contar con estudios que identifiquen los suelos de la zona con más especificidad. Los yacimientos explotados en la región y las cartas geológicas oficiales corresponden a antecedentes de interés para la localización del relleno sanitario.
- *Estudios Estratigráficos:* Reservados generalmente al diseño final del relleno o una selección reducida de alternativas, es la tarea de campaña correspondiente a realizar un ensayo para definir la distribución de los estratos de suelo y sus propiedades técnicas de interés. Un ejemplo sería la realización de un Ensayo de Penetración Estándar (SPT) para definir los estratos y sus resistencias, haciendo uso de una vaina Shelby o Moretto, para la obtención de muestras inalteradas que permitan definir su asentamiento y permeabilidad.

Clausura, Post-clausura y Limitantes locales al Relleno

El emplazamiento de un Relleno Sanitario implica la transformación de las características ambientales de un lugar de forma permanente. Aunque dicha transformación pueda proyectarse responsablemente, la localización del relleno no debe ir en contra de los valores culturales y sociales, que enmarcan al paisaje donde se lo instale.

3.7.3.2. Métodos de Emplazamiento

El estudio de la presencia y evolución estacional del flujo de agua subterránea, es importante para el diseño del relleno sanitario desde sus primeras etapas, ya que el nivel topográfico de la napa freática es una variable técnica limitante.

Para el caso particular de este proyecto, el marco normativo establece una separación de 1,50(m) como distancia segura entre el lecho del relleno sanitario y el pelo de agua subterránea, que debe ser garantizada durante todo el año a pesar de las variaciones estacionales.

Conceptualmente, esto puede devenir en tres métodos distintos de emplazar la obra en la topografía natural, y tendrá consecuencias en las estrategias de operación del relleno.

- *Relleno en Negativo:* Es también llamado “método de zanja excavada”. Constituye una modalidad idónea para zonas donde se dispone de una amplia separación entre el nivel freático y la superficie. Se ubica el volumen de diseño del relleno en una superficie excavada, de manera de evitar el pasivo paisajístico de sobre-elevar la topografía en una explanada.
- *Relleno en Positivo:* Se lo conoce también como “método en zona”. Implica ubicar la totalidad del volumen de diseño del relleno sobre el nivel de terreno natural, generando una explanada contenida por terraplenes.
- *Relleno Combinado:* Conocido también como “método mixto”. La elección entre cualquiera de los dos métodos anteriores surge del balance económico que implique cada solución técnica. Para ello resulta necesario considerar las tareas de movimiento de suelos para la construcción y la operación, pudiendo ser necesario recurrir a la obtención de material proveniente de zonas de préstamo. Por esta razón, resulta ser normal en la práctica recurrir a una combinación entre ambas modalidades descriptas.

Laqunas Aeróbicas – Método Wehner-Wilhelm:

Esta línea de cálculo se basa en una simplificación matemática de la aplicación de ecuaciones diferenciales, representativas del proceso de dispersión de los productos de la digestión bacteriana a la atmósfera.

Se debe proponer una sección transversal de laguna “A” y una longitud de la misma “L”, para luego corroborar la disminución de concentraciones resultante. El objetivo para la reutilización del agua en una función como el riego suele ser una disminución del 90% [8], a raíz del cual varios factores toman valores determinados. Se calculan:

- $v = Q/A \equiv$ Velocidad del fluido (m/h) (3.18)

- $D = 1.0 (m^2/h) \equiv$ Coeficiente de Dispersión Axial típico para el caso (3.19)

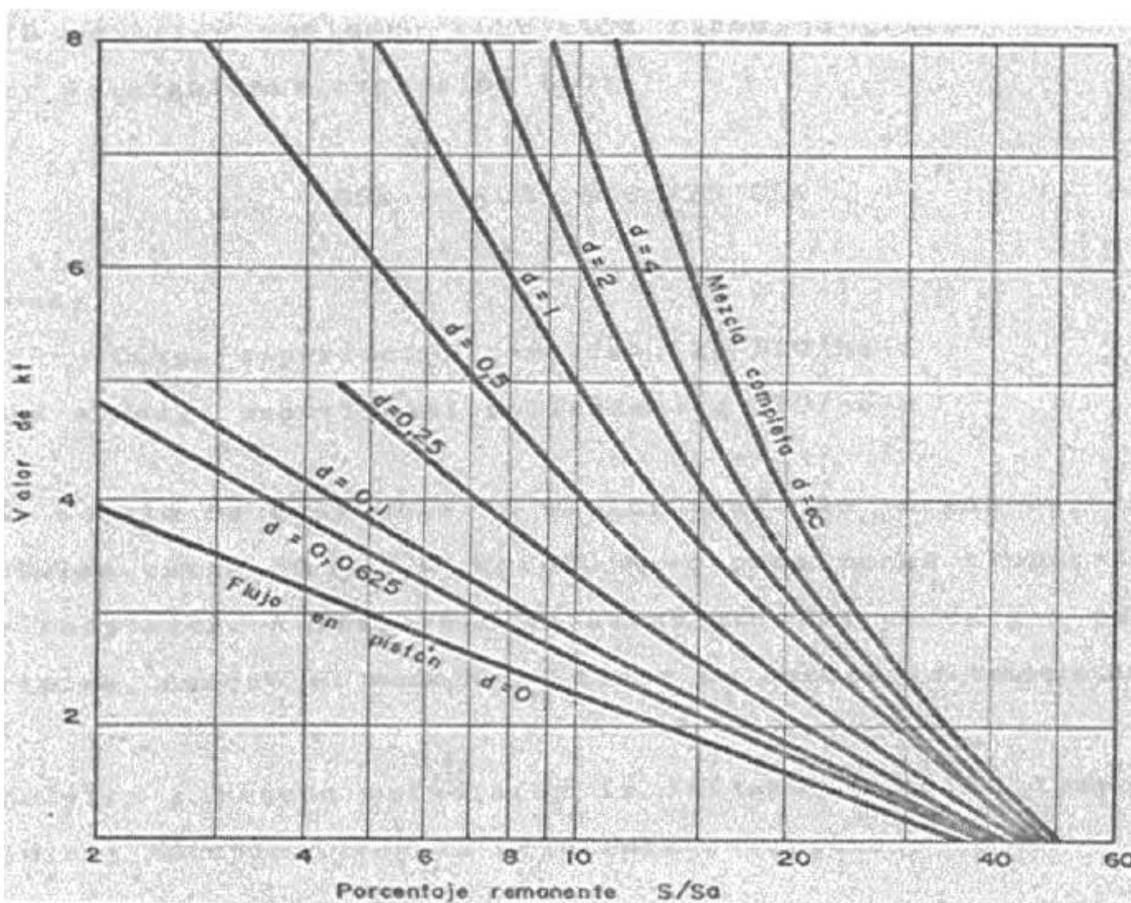
- $d = D/v \cdot L \equiv$ Factor de Dispersión (3.20)

- $k \cdot T_{rh} \equiv$ Término simplificado de Thirumurthi; según nomograma (3.21)

- $a = \sqrt{1 + 4 \cdot d \cdot k \cdot T_{rh}}$ (3.22)

Luego, es posible verificar que la reducción lograda (mediante las medidas planteadas) sea suficiente, aplicando la fórmula:

$$\frac{L_i}{L_e} = \frac{4 \cdot a \cdot e^{1/2d}}{(1 + a)^2 * e^{a/2d} - (1 - a)^2 * e^{-a/2d}} \cong 0.90 \quad (3.23)$$



*Fuente: Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Mc. Graw-Hill, España, 1995

Figura 3.19 | Nomograma de Thirumurthi

3.8.2. Control de Gases

Junto con el lixiviado, en un relleno se generan biogases, como producto de la descomposición anaeróbica que ocurre con los residuos enterrados.

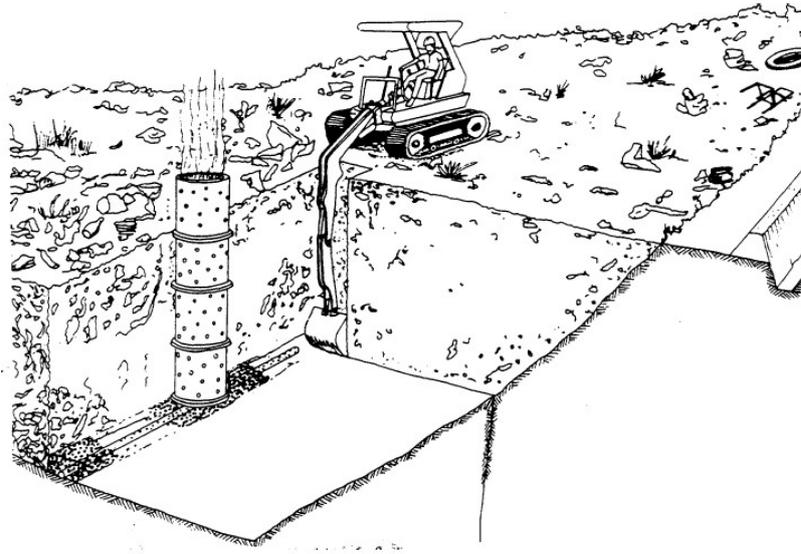
El “gas de vertedero” está compuesto por “gases principales” y por “oleo-gases” (que constituyen el resto de las producciones menores de gas); cada uno de naturaleza diferente.

Para estudiar la tasa de generación de los primeros, se distinguen hasta cinco fases secuenciales dentro del proceso de descomposición (Ajuste inicial, Fase de transición, Fase ácida, Fase de fermentación del metano y Fase de maduración), y durante cada una de ellas se producen cambios en las características químicas de los gases emanados, cambiando su composición, y por lo tanto el caudal producido por las reacciones químicas.

El control de los gases del Relleno Sanitario se efectúa con dos objetivos específicos. Primero, el de canalizar la evacuación de los mismos de forma controlada, para evitar filtraciones a través de las superficies y laterales, evitando la contaminación desmedida del medio y la exposición de los vecinos a gases peligrosos. Luego, el de controlar la velocidad de descomposición de RSU, medida por la producción de gas, que constituye una variable más certera que las deducciones de composición de los residuos, humedad, temperatura y consiguiente reacción química.

Sin canalización, los gases producidos en las celdas de residuos aumentan su presión interna por encima de la atmosférica y, por los mecanismos de difusión molecular y de absorción, los medios líquidos y sólidos lindantes pueden contaminarse por movimientos de migración ascendente, descendente y lateral. Para evitar dicho problema, se prevé en los Rellenos Sanitarios la existencia de instalaciones de control pasivo o activo.

Las instalaciones de control pasivo comprenden las chimeneas permeables, proyectadas para construirse entre las celdas de residuos a medida que se completa el relleno y dispuestas entre sí teniendo en cuenta un determinado radio de influencia de cada una; las zanjas perimetrales, excavadas donde no sea suficiente el alcance de la capa impermeable; y las barreras de material absorbente. Las dos primeras controlan la migración de gases, dándole a los mismos un espacio vacío. La diferencia de presiones interior y exterior, genera un mecanismo de convección, despachando partículas de gas a un ritmo que evita el almacenamiento de energía suficiente para dispersarse por la superficie. La última, corresponde a un material diseñado y dispuesto para absorber y/o estabilizar los contaminantes pertenecientes a oleo-gases que sean particularmente peligrosos.



*Fuente: Residuos Sólidos Urbanos: Manual de Gestión Integral. ADAN Venezuela, Uruguay, 1998

Figura 3.20 | Construcción de chimenea de gases de un Relleno Controlado

Las instalaciones de control activo son conceptualmente similares a las anteriores, pero se disponen con un alcance mayor. Estas cuentan con algún mecanismo que direcciona la migración del gas, como puede ser la inyección de aire o la generación de vacío.

Cualquiera sea el caso implementado en el Relleno Sanitario, la gestión de gases culmina con la aplicación de alguna de tres alternativas:

- El gas producido puede procesarse para la generación de energía.
- El fluido puede purificarse (mediante absorción física, química o separación de membrana).
- Se emplea un proceso de incineración, para evitar la entrada al medio de los componentes peligrosos del gas.

3.8.3. Control de Plagas

Las plagas pueden generar importantes incomodidades y problemas de salud a los operadores del relleno y a los habitantes de las zonas próximas a la obra. Las moscas y mosquitos son los insectos de principal preocupación, ya que constituyen vectores transmisores de enfermedades. Las moscas pueden transmitir salmonella, mediante el traslado físico de la bacteria desde los residuos a los alimentos. Los mosquitos pueden transmitir enfermedades como dengue, zika y malaria.

El control de este tipo de plagas, se realiza por medio de la compactación y cobertura de los residuos, prestando especial atención a aquellas zonas de depresión donde pueda acumularse agua de lluvia. Es necesario cubrir dichos sectores, a fin de eliminar posibles lugares para la reproducción de mosquitos.

Por otro lado, las ratas son vectores que pueden transmitir enfermedades como rabia, tifus y leptospirosis. Estos roedores se reproducen dentro de las áreas de los rellenos, o migran desde zonas cercanas. En caso de encontrar fuentes de comida y agua, suelen mantenerse en el lugar. Si las tareas de cobertura diaria y compactación son efectuadas correctamente, se eliminan las fuentes de estos recursos, y disminuye el riesgo de presencia de roedores.

3.9. Conformación de un sistema GIRSU

Para que el desarrollo de una Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos tenga lugar, es necesario que la comunidad conforme un sistema integrado por la totalidad de los elementos funcionales mencionados (pudiendo o no estar presente la instancia de transferencia), y que todos ellos hayan sido evaluados y adecuadamente interconectados de forma de garantizar la mayor eficacia y rentabilidad.

Todas las acciones y operaciones implicadas en la gestión deben ser coordinadas, ya que la falla en cualquiera de ellas puede afectar a las demás. Así, por ejemplo:

- Una mala planificación del elemento funcional de recolección, puede encarecer el transporte.
- Un mal dimensionamiento del transporte afecta a la separación, procesamiento y transformación posteriores, así como también a la disposición final. Esto puede dar lugar a reclamos por parte de la población.
- Un procesamiento y transformación ineficiente o una evacuación inadecuada de los residuos, implica que los objetivos del sistema GIRSU no han sido alcanzados.

3.9.1. Jerarquía en sistema GRSU

El diseño de un sistema GRSU en una localidad implica la planificación de diversas acciones de intervención. Con respecto a las mismas, resulta indispensable la definición de una jerarquía que permita clasificarlas y organizarlas por orden de importancia.

El ingeniero George Tchobanoglous establece la siguiente jerarquía, basándose en el criterio adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA):

- Reducción en origen: Implica la reducción del volumen de los RSU generados y de la toxicidad de los mismos.
Constituye el rango más alto de la jerarquía propuesta, ya que es la forma más eficiente de reducir la cantidad de desechos que deben ser gestionados y finalmente dispuestos en el terreno, permitiendo a su vez disminuir los costos asociados a los procesos del sistema de gestión. El empleo de envases retornables y la reutilización de productos y materiales, son algunas acciones que pueden ser llevadas adelante en las residencias particulares y comercios.
- Reciclaje: Implica la separación de los residuos, el acondicionamiento de los mismos, su reprocesamiento o transformación y posterior empleo en la fabricación de nuevos productos.
El reciclaje puede contribuir a la disminución de la demanda de recursos requeridos en los distintos procesos de elaboración de productos, reduciéndose a su vez la demanda de materias primas vírgenes, así como los desechos generados por las cadenas de producción.
- Transformación de residuos: Refiere a la alteración física, química o biológica de las características de los RSU. Este tipo de transformaciones son empleadas para mejorar la eficacia de las operaciones del sistema GRSU y como segunda instancia para recuperar materiales susceptibles de ser revalorizados.
- Vertido: Implica la disposición final apropiada de los residuos que no puedan ser recuperados y reciclados. Constituye el rango más bajo de jerarquía definida, ya que es la forma menos deseada por la sociedad para el tratamiento de los desechos.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21 | Jerarquía de la gestión integral de residuos sólidos

3.10. Complejo Ambiental

La totalidad de conceptos y tecnologías explicadas hasta el momento, requieren en la práctica de un espacio físico diseñado con infraestructura dedicada a los Elementos Funcionales de la GIRSU y sus procesos relacionados.

Se entiende por *Complejo Ambiental* al conjunto de instalaciones necesarias para realizar la clasificación de los residuos según su naturaleza, para su posterior tratamiento, valorización y/o disposición definitiva, emplazadas en una localización concreta que forme parte de la zonificación de una localidad que lo administre (por su cuenta o en conjunto con otras).

Podrá contener entonces una IRM (con sus unidades de Separación y Procesamiento, de Tratamientos Físicos, Químicos y/o Biológicos) o recibir los RSU transferidos desde una; y poseerá una unidad de disposición final, así como con todas las instalaciones secundarias que sirvan para generar un espacio habitable para sus operarios y para permitir las tareas de operación y control ambiental antes nombradas. En todos los casos, debe aspirarse al vertido de RSU en un Relleno Sanitario, dotado de todas las soluciones técnicas necesarias.

Tal construcción deberá preverse en una localización oportuna a todos los factores nombrados para el emplazamiento de un relleno sanitario. Así mismo debe ser funcional al crecimiento y urbanización de la región, y buscar ser un punto estratégico que logre economía en transportes y transferencias. Todo complejo ambiental debe contar con una adecuada aislación respecto a las zonas residenciales, y ser diseñado contemplando

un uso posterior a la vida útil del relleno sanitario (proyectando una ampliación de la obra de vertido o su clausura definitiva). Es importante aclarar que el término “clausura” en materia GIRSU no tiene la misma connotación que para el resto de las obras civiles, donde se entiende como la prohibición de uso ante un riesgo inminente para las personas, sino que se refiere a la ejecución de un plan de re-funcionalización o *Plan de Clausura*.

Durante su servicio, el relleno sanitario se completa de manera ordenada como se explica con anterioridad, formando celdas de residuos separadas por material inerte (*Capas Intermedias*), y que responden a taludes y asientos evaluados estructuralmente. Cuando dichos taludes o la altura cubierta alcanzan el límite de lo estructuralmente admisible (o se alcanza el límite espacial proyectado y construido para el relleno), entonces llega el momento de tapar las celdas con un paquete definitivo (*Capa Final*).

La capa final constituye la terminación que quedará permanentemente a la intemperie en ese sector (antes explotado como relleno controlado y ahora constituido como un terreno condicionado estructural y ambientalmente). Es importante prever el potencial ataque de agentes ambientales, el escurrimiento de aguas superficiales, y el uso que se dé al espacio (lo que habitualmente incluye la plantación de césped y/o arboleda). Los actos de materializar esa nueva función y las tareas mantenimiento tras el cese de explotación, implican la llamada clausura del complejo ambiental.

El plan de clausura debe existir desde la concepción del diseño, de manera de poder organizar la topografía generada con las celdas de residuos, la previsión de masas de suelo firme para fundar cimientos, el nuevo uso de la IRM e instalaciones secundarias, y la satisfacción de una necesidad local del largo plazo. Las soluciones más comunes suelen incluir parques, paseos y espacios destinados al deporte.



*Fuente: Clarín Web, 04/0/04/2017

Figura 3.22 | Bioparque Metropolitano (Ex relleno sanitario de Villa Dominico)

3.10.1. Componentes complementarios

Además de las obras civiles y de infraestructura ya mencionadas, la construcción de un complejo ambiental implica la constitución de ciertas obras o componentes complementarios al relleno sanitario.

- Cartel de información y señalización
- Cerco perimetral
- Barrera forestal
- Ingreso y casilla de vigilancia
- Casilla de pesaje y báscula
- Oficinas administrativas
- Servicios sanitarios y eléctricos
- Almacén
- Taller
- Caminos internos

Resulta importante resaltar que la presencia o ausencia de alguno de estos componentes, puede derivarse directamente del criterio técnico y de las características o condiciones propias de cada caso de estudio. En algunos casos una misma instalación o edificación, puede cumplir con varias de las funciones mencionadas en esta sección.

Cartel de información y señalización

Este elemento complementario, tiene como finalidad proporcionar a la comunidad información relativa a las obras en ejecución. El mismo debe ser colocado previamente al inicio de las tareas constructivas y contar proporcionar datos de interés como nombre del municipio, nombre de la empresa prestadora del servicio, nombre del complejo ambiental o del relleno sanitario, etc.

Cerco perimetral

Resulta importante destacar que el predio donde se emplazan las obras, debe estar debidamente cercado. Esta delimitación física tiene la función de evitar el ingreso de personas (no autorizadas) o animales al sector de trabajo. También permite la retención de residuos que puedan ser arrastrados por el viento, evitando que sean trasladados fuera del complejo.

Barrera forestal

La conformación de un cerco vivo presenta múltiples funcionalidades: actúa como barrera reteniendo papeles y plásticos levantados por el viento, contribuye a estabilizar los taludes, reduce la dispersión de malos olores y de partículas de suelo, originadas por las tareas de movimiento de suelos.

Se recomienda plantar árboles de rápido crecimiento (pino ciprés, eucalipto, etc.) y especies regionales.

Ingreso y casilla de vigilancia

La puerta de ingreso al complejo, al igual que el cerco perimetral, forma parte de las medidas de seguridad para evitar el ingreso de personas y vehículos no autorizados.

Del mismo modo, es importante contar con una casilla de seguridad en la zona de acceso, que cumpla con una función de portería y monitoreo.

Casilla de pesaje y báscula

Contar con una báscula o balanza para efectuar el pesaje de los camiones que ingresan al complejo, permite contar con un control detallado de las cantidades de RSU que ingresan y son procesados. Las características de los equipos a emplear, dependen de la cantidad de residuos que se espera lleguen al predio, de las características y porte de los vehículos que los transportan y del presupuesto disponible. Idealmente la plataforma de pesaje, debe ser lo suficientemente amplia para acomodar todos los ejes del vehículo de manera simultánea.

La casilla de pesaje, tiene como función principal operar los controles de entrada de RSU y ser “la memoria del relleno sanitario”, permitiendo llevar un registro detallado de los ingresos.

En caso de estar presentes, estos elementos complementarios deben localizarse en la entrada del complejo.

Oficinas administrativas

Las instalaciones administrativas dependen de la magnitud del complejo y la complejidad de las tareas a realizar.

Servicios sanitarios y eléctricos

Este elemento comprende al conjunto de instalaciones sanitarias (agua potable y desagües cloacales) y eléctricas, requeridas para el desempeño de las actividades del

complejo. Los servicios sanitarios deben ser instalados conforme a las normativas y requisitos propios de la zona de emplazamiento de las obras.

Almacén

Cuando el tamaño del relleno sanitario que se opera lo amerita, o cuando se recurre al empleo de un gran número de herramientas y/o equipos, se puede recurrir a la constitución de un almacén, donde estos han de ser guardados.

Taller

Este elemento consiste básicamente en un galpón empleado para el desarrollo de tareas de mantenimiento preventivo y reparación de máquinas, vehículos y equipos. Debe consistir en un área cubierta que permita el trabajo continuo, independientemente de las condiciones climáticas.

Caminos internos

En este tipo de complejos, es posible distinguir entre tres tipos de vías de tránsito internas.

- *Vías principales:* Son aquellas que llegan al predio desde el exterior. Son permanentes y deben servir para toda la vida útil del complejo ambiental. Las vías principales no pueden, en ninguno de sus tramos, ser constituidas sobre residuos.
- *Vías secundarias:* Generalmente se entiende como vías secundarias a aquellos caminos perimetrales al relleno sanitario, y que permiten el acceso a cada uno de los puntos internos del complejo.
- *Vías temporales:* Se trata de caminos de escasa vida útil, empleados para lograr el acceso al frente de la celda diaria de trabajo. Se caracterizan porque su diseño depende en gran medida de aspectos operativos, denotándose una gran incidencia del clima y la forma del terreno. Para la constitución de las vías temporales, suele emplearse el mismo material (suelo) de cobertura y los equipos empleados para la compactación de RSU en el relleno.

3.10.2. Monitoreo ambiental

El monitoreo ambiental consiste en el seguimiento permanente y la evaluación de la calidad de los recursos naturales (aire, agua y suelo), por medio de extracción de muestras, ejecución de análisis e inspecciones, que permitan determinar el estado del medio ambiente y prevenir impactos negativos originados por fallas en el funcionamiento de las instalaciones (particularmente del relleno sanitario).

Monitoreo para el control de aguas

Durante la etapa operativa de un relleno sanitario, se deben inspeccionar las aguas superficiales (cursos de agua muy próximos a la zona de vertido), y subterráneas a través de los denominados “pozos de monitoreo”. Estos últimos son empleados para controlar e identificar las posibles contaminaciones originadas por infiltraciones.

En resumen, estas obras tienen como finalidad garantizar que el relleno funcione de acuerdo a lo previsto, y que no existan fallas o fisuras en las capas de impermeabilización.

Los pozos de monitoreo deben posicionarse aguas arriba y aguas debajo de la superficie empleada para la constitución de las bateas (unidades de disposición final). La cantidad de pozos requeridos, es variable para cada relleno en particular.

En cualquier caso en que se detecte contaminación, se deben aplicar medidas correctivas.

Monitoreo del sistema de drenaje y tratamiento de lixiviados

Es importante verificar la adecuada constitución de los drenes internos de lixiviados, y evitar que se coloquen obstrucciones durante la etapa de construcción, de modo de garantizar la adecuada circulación de los mismos hasta el sistema de tratamiento.

Del mismo modo, es necesario realizar controles periódicos del sistema de tratamiento de lixiviados. Como se ha mencionado previamente en esta unidad, generalmente se recurre al empleo de lagunas de estabilización. Algunas tareas de monitoreo que pueden realizarse son:

- Inspección de la infraestructura de las lagunas, a fin de detectar agrietamientos que puedan generar derrames futuros.
- Verificar los niveles de sedimentos (fangos) decantados.
- Verificar el nivel del pelo de agua antes de la época de lluvia, de modo de prevenir posibles contingencias.

- Realizar análisis correspondientes al afluente que ingresa al sistema y al efluente generado, de forma de constatar el valor de parámetros técnicos específicos (por ejemplo: DBO5, pH, conductividad y metales pesados, entre otros); que puedan funcionar como indicadores de la eficacia del tratamiento y el cumplimiento de las restricciones legales correspondientes.

Monitoreo de las instalaciones de control de gases

Las tareas de monitoreo generalmente aplicadas en esta instancia, se corresponden con la revisión visual y la limpieza manual rutinaria del sistema. También se debe inspeccionar el sitio del relleno, para la detección de fugas en las capas superficiales, y su inmediato llenado.

En el caso de rellenos mecanizados de grandes dimensiones, se debe realizar un control del contenido de gas metano en celdas antiguas ya cerradas, de forma de evitar explosiones en las chimeneas.

3.11. Consorcio GIRSU

Un “*Consortio Público Intermunicipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*” es un ente público no estatal, creado por ley, para integrar regionalmente la construcción, gestión, supervisión, operación y mantenimiento de un complejo ambiental, brindando solución conjunta a los distintos municipios que lo integran y que en forma separada o individual no podrían asumir tales tareas.

Significa la solución práctica a las dificultades que le supone a las pequeñas y medianas localidades una obra de infraestructura tan compleja y onerosa como lo es un complejo ambiental. Aquellas comunidades que no alcancen niveles de población que sustenten económicamente la construcción de un relleno sanitario, pueden de esta manera formar parte de una GIRSU a mayor escala, y dar disposición final a sus residuos de manera adecuada.

La ley que abala su formación y actuación en la provincia de Santa Fe es la número 13055, considerándolo una herramienta indispensable hacia el objetivo de “Basura Cero”. Ésta y otras leyes pertinentes, se presentan en la siguiente unidad del proyecto.

“ARTÍCULO 15.- Las Municipalidades y Comunas podrán constituirse en Consorcios Regionales, organismos públicos supramunicipales, que los representen para la gestión integral y regional de sus RSU. Estos Consorcios deberán ser aprobados por ordenanza

local y por resolución de la autoridad de aplicación, la que deberá llevar un registro de los mismos” [2]

“ARTÍCULO 16.- El Consorcio Regional podrá presentar proyectos ante la autoridad de aplicación, para su aprobación y financiación. Estos proyectos deberán posibilitar la implementación de estrategias regionales, para alguna o la totalidad de las etapas de la gestión integral de los RSU. Deberán adecuarse a las normas de saneamiento urbano previstas en la legislación provincial, al marco de la Estrategia Provincial para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y la legislación nacional vigente” [2]

Las Colonias es uno de los diecinueve departamentos que integran la Provincia de Santa Fe, y se encuentra localizado aproximadamente en el centro de la misma. Cubre una superficie total de 6439(Km²) y limita al norte con el departamento San Cristóbal, al sur con los de San Jerónimo y San Martín, al este con los de San Justo y La Capital, y al oeste con el departamento Castellanos.



*Fuente: www.senadosantafe.gob.ar

Figura 5.2 | Departamento Las Colonias y área de estudio - Santa Fe, Argentina

Se ha seleccionado el contexto mencionado para enmarcar este proyecto de ingeniería, ya que se posee conocimiento sobre la existencia de necesidades, problemáticas y carencia de gestiones en materia GIRSU, así como también de la ausencia de obras de infraestructura para una adecuada disposición de los residuos, en esta región.

Como puede apreciarse, las localidades alcanzadas y que más adelante serán contempladas en el planteo de alternativas, son:

- Humboldt
- Esperanza
- Santa María Norte
- San Jerónimo Norte
- Las Tunas
- Franck
- San Jerónimo del Sauce
- San Carlos Norte
- San Carlos Centro
- San Carlos Sur
- San Agustín
- Matilde
- Sauce Viejo

Cabe destacar que se ha decidido incluir a la comuna de Sauce Viejo en el desarrollo del proyecto. Esta localidad, a diferencia de las restantes, no pertenece al departamento Las Colonias, sino al departamento La Capital. Sin embargo, debido a su notable proximidad con respecto a los demás pueblos y ciudades contemplados, y al número considerable de habitantes que posee, se decide hacerla parte del estudio planteado.

Con la finalidad de lograr una delimitación territorial más precisa de la zona de interés, se emplean las vías de comunicación existentes, los cursos de agua presentes y el límite geográfico del departamento las Colonias como criterios de circunscripción.

- **Propósito:** La solución principal, nombrada en el Árbol de Soluciones, que constituye el objetivo específico del plan de intervención, y aborda la problemática ingenieril de manera completa.
- **Componentes:** Insumos, estados o recursos que son necesarios por parte del medio para alcanzar el propósito, y que el plan de intervención debe comprender y garantizar. Constituyen los objetivos operacionales.
- **Actividades:** Acciones concretas, de ingeniería o no, contempladas por plan de intervención y necesarias para la conformación de los Componentes.

De esta manera, la primera columna y sus filas ordenan la información del resto de la matriz, y garantizan una guía para la correcta aplicación del enfoque de marco lógico en el proyecto. Para este caso, se plantean las siguientes columnas de información complementaria:

- ***“Indicadores”***; los factores medibles que identifican a cada uno de los objetivos y permiten un control sobre su evolución.
- ***“Verificadores”***; las acciones o documentos concretos que permiten tener noción sobre el valor de los indicadores, para un correcto desarrollo del proyecto.
- ***“Supuestos”***; variables sobre las que no se tiene control o acciones por parte de terceros, que el plan de intervención planteado infiere de manera hipotética, y sobre las que se debe ejercer observación.

A continuación, se presenta una tabla donde se resumen los datos obtenidos sobre la cobertura de los principales servicios públicos, en cada localidad. La misma ha sido elaborada en función de los registros provistos por el organismo INDEC Argentina en su último censo (año 2010), recopilada durante las entrevistas efectuadas a las autoridades comunales y municipales (entre los meses de Febrero y Abril de 2019), y los relevamientos de campo llevados a cabo.

Localidad	COBERTURA DE SERVICIO				
	Agua Potable (%)	Desagües Cloacales (%)	Gas natural (%)	Energía Eléctrica	Telecomunicaciones
Humboldt	100,00	S/D [§]	76,40	SI	SI
Esperanza	98,21	57,73	66,70	SI	SI
Santa María Norte	S/D [§]	S/D [§]	S/D [§]	SI	SI
San Jerónimo Norte	99,55	87,73	81,00	SI	SI
Las Tunas	S/D [§]	0,00	0,00	SI	SI
Franck	99,82	84,24	80,00	SI	SI
San Jerónimo del Sauce	0,00	0,00	0,00	SI	SI
San Carlos Norte	90,2	0,00	0,00	SI	SI
San Carlos Sud	S/D [§]	S/D [§]	S/D [§]	SI	SI
San Carlos Centro	95,62	46,60	37,20	SI	SI
San Agustín	98,00	0,00	0,00	SI	SI
Matilde	81,55	0,00	0,00	SI	SI
Sauce Viejo	S/D [§]	S/D [§]	S/D [§]	SI	SI

*Fuente: Elaboración propia, con datos de INDEC (2010)

Tabla 6.1 | Servicios públicos

[§] S/D: Sin dato. Aplicable a todos aquellos casos en que no se tiene certeza del porcentaje de cobertura, del servicio en cuestión.

6.2. Desarrollo en Materia GIRSU

6.2.1. Humboldt

Tras entrevistas con habitantes del pueblo y corroborando con diarios de la región, se relevan dos rasgos característicos de Humboldt en materia GIRSU.

El primero es un sistema de recolección eficiente e integral. La localidad recolecta constantemente cartón y vidrio en la costumbre de revender el material reciclable a favor de la asociación de bomberos voluntarios local; y en la actualidad sigue campañas de concientización y promoción para la separación de residuos en origen, que el gobierno comunal ha implementado tras la sanción de un consorcio en la región (tema que trata más adelante, como antecedente analizado para el presente proyecto).

El servicio funciona con regularidad dos días a la semana, pero la recolección diferenciada y la actualización de vehículos se encuentran suspendidas, en tanto se brinde solución a la disposición final. En cuanto a la disponibilidad de máquinas y equipos, se ha constatado la existencia de dos camiones volcadores de propiedad de la comuna, empleados para la prestación del servicio de recolección de RSU.

La localidad cuenta con instalaciones dedicadas al compostaje, que en un programa (ya discontinuado) han servido para el tratamiento de materia orgánica, generando abono para el vivero local. Tales instalaciones se encuentran en buen estado y pueden recomponerse.

La mayor problemática del pueblo es la disposición final de RSU. En la actualidad, un BCA ubicado poco más de 1(Km) al sur del casco urbano recibe todos los residuos, que se echan sin control alguno, sin distinción de separación ni consideración de los vectores presentes. La quema del basural es irregular (generando riesgo) y en suma a los malos olores constituyen una situación grave para los vecinos, que en la actualidad se encuentran accionando legalmente contra la gestión comunal.

Respecto a la existencia de una normativa local de interés, cabe destacar que la localidad e Humboldt adhiere a la ley provincial 13055 (“Ley de basura cero”), por medio de una ordenanza comunal.

Por otro lado, resulta importante mencionar la ordenanza n°08/2004, de planificación urbana. En la misma se definen los límites de las zonas previstas para el desarrollo residencial e industrial.

- Ordenanza n°3061: Modifica artículo 7, de la ordenanza n°2921/92 (“Residuos Patológicos”).
- Ordenanza n°3752: Programa de recolección de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- Ordenanza n°3959: Equipos para las etapas de tratamiento, valorización y disposición final de RSU.

6.2.3. Santa María Norte

El tamaño de la localidad imposibilita la gestión de los RSU, que son dispuestos por los vecinos en sus propios domicilios (todos ellos rurales) y sin la intervención de la comuna en un servicio de recolección.

No se ha identificado la existencia de una normativa local referida al uso de suelos, planeamiento urbano, ni gestión de residuos sólidos urbanos.

6.2.4. San Jerónimo Norte

La gestión de los residuos sólidos en San Jerónimo es enmarcada dentro de un programa de iniciativa local llamado “Se-Parar”. Actualmente, existe una política de separación de residuos en origen en dos fracciones, respetada por la mayoría de los habitantes:

- Orgánicos
- Inorgánicos

Se cuenta con un servicio de recolección diferenciada, que efectúa diariamente la recogida de RSU, recolectando los lunes, miércoles y viernes los residuos orgánicos; y los martes y jueves los residuos inorgánicos

Para la recolección de los residuos domiciliarios se emplean dos camiones compactadores cargados manualmente. Para los residuos de patio, poda y hojas, dos tractores con acoplado. Para residuos voluminosos y de construcción, camiones volcadores, con tractores palas que acompañan las tareas.

La comuna cuenta con dos galpones que cumplen la función de centros de recuperación de residuos, ambos situados dentro de un mismo terreno, a las afueras del casco urbano. Un galpón de 60(m²) es destinado para la recepción y clasificación de residuos orgánicos. Los mismos son depositados en el exterior para su transformación natural en compost, que luego es comercializado en la localidad.

Los residuos recuperables son trasladados por los vehículos de recolección al galpón lindante. El mismo consta de una superficie de 480(m²) y su estructura resistente está

conformada por vigas y columnas reticuladas, con los cerramientos de chapa ondulada. Se visualiza, además, la presencia de tensores (cables) que actúan como riostras laterales, para proporcionar resistencia a las sollicitaciones horizontales. Se cuenta con 6 bunkers laterales para el almacenamiento de vidrio, plástico y latas, mientras que los materiales que deben permanecer constantemente secos (papel y cartón) son almacenados en el sector central. Los desechos que ingresan a la planta son clasificados manualmente por el personal, acopiados, prensados (para la conformación de fardos) y finalmente comercializados. Los datos registrados en el año 2017 indican que la planta logró recuperar 10565 kilogramos de plástico, 850 de polietileno expandido, 37875 de cartón, 8469 de papel, 3355 de latas, 20850 de vidrio y 2500 envases de tetrabrik.

Los residuos no recuperables (restos de comida, papel y cartón sucio, pañales, materiales no clasificados en origen) son vertidos directamente en un BCA que no dispone de obras o medidas de protección del medio ambiente.

Respecto a la existencia de una normativa local de interés, cabe destacar que la localidad adhiere a la ley provincial 13055 (“Ley de basura cero”), por medio de una ordenanza comunal.

6.2.5. Las Tunas

La comuna de Las Tunas no presenta un desarrollo considerable en materia GRSU.

De acuerdo a comentarios de los vecinos, actualmente existe una política de separación de RSU en origen, recurriéndose a la distinción de dos fracciones:

- Orgánicos
- Inorgánicos

Se dispone de un servicio de recolección efectuado por un camión volcador pequeño. El mismo cubre todo el sector urbano del distrito y es prestado por un tercero contratado por la administración local. Los residuos orgánicos son recogidos los días lunes y viernes, y los inorgánicos los días miércoles. Los empleados comunales juntan ramas y pastos según disponibilidad horaria, generalmente por la tarde.

Los residuos captados por el sistema de recolección, son vertidos en un BCA ubicado sobre la RP50s (camino a San Jerónimo Norte). El predio consiste en un terreno de libre acceso, sin medidas de cercado y seguridad. Por esta razón, con frecuencia individuos de otras localidades recurren al vertido irregular de desechos que no pueden disponer en los basurales de sus respectivas comunidades. En muchos casos, se ha detectado la presencia de animales muertos, trasladados de forma no autorizada a este basural.

Pese a la existencia de una política de separación de residuos en origen, los desechos captados por el sistema de recolección no son recuperados y son vertidos sin clasificación en el basural.

Las hojas y ramas recogidas por los empleados municipales, son incineradas.

La adopción de estas modalidades de manejo y disposición final de RSU no prevén ningún tipo de medida de protección del medio ambiente y las condiciones sanitarias de la población.

Pese al escaso desarrollo actual que la comuna posee en materia GIRSU, en las consultas realizadas a las autoridades locales, han mostrado un notable interés en mejorar la situación actual. Se ha manifestado que la principal limitante que Las Tunas posee para una adecuada gestión de RSU es la escasa disponibilidad de fondos propios de la comuna.

No se ha identificado la existencia de una normativa local referida al uso de suelos, planeamiento urbano, ni gestión de residuos sólidos urbanos.

6.2.6. Franck

En función de los relevamientos realizados, se ha concluido que la localidad de Franck presenta un importante desarrollo en GIRSU.

Desde el año 1998, ha comenzado a trabajarse en distintos aspectos vinculados a la temática de residuos urbanos, iniciándose con la separación de los mismos en origen y evolucionándose progresivamente hasta la situación actual.

La comuna cuenta con un sistema GIRSU de perspectiva local, que contempla a los distintos elementos fundamentales que han sido previamente descritos en la unidad de “Marco Conceptual”.

Se posee una política regulada de separación de residuos en origen, recurriéndose al empleo de dos categorías:

- Residuos Húmedos
- Residuos Secos

En correspondencia a dicha política, se dispone de un servicio de recolección diferenciada. Los días lunes, miércoles y viernes se recogen los residuos húmedos (depositados por medio del empleo de bolsas plásticas en la vía pública) y los días martes y jueves, los residuos secos.

Con la finalidad de promover la concientización y la efectiva adhesión de la comunidad a estas políticas públicas, desde el año 2017 se realizan campañas de educación (respecto a la temática de residuos) en las escuelas. Las autoridades estiman

que aproximadamente el 80% de la población respeta la modalidad adoptada de separación en origen.

En aquellos casos en que se detecta que un vecino de la comunidad incumple la regulación, los empleados del servicio de recolección dan aviso a las autoridades comunales. La comuna emite una notificación de advertencia, la cual es transmitida por medio de un inspector de tránsito. Si la falta vuelve a producirse, se labra una multa al infractor.

La totalidad del volumen de RSU captada por los camiones recolectores es trasladada a la planta de recuperación de materiales “FIMA” (Franck Incorpora Mejoras Ambientales). En esta instalación, se efectúa la clasificación de los desechos sólidos y la recuperación de vidrio, plástico y cartón. El vidrio obtenido es molido y luego comercializado. De forma similar, el cartón y las piezas plásticas son revendidos, previa compactación en forma de fardos.

Finalmente, los materiales que ingresan a la planta FIMA y no son susceptibles de ser revalorizados, son dispuestos en un relleno sanitario local. El mismo posee una capa de impermeabilización conformada con bentonita. Así mismo, presenta un sistema de captación de lixiviados, consistente en cañerías de PVC de diámetro de 110(mm). Estos conductos desembocan en recipiente plásticos, los cuales son reemplazados al llenarse completamente su volumen.

Como se ha mencionado previamente, la localidad de Franck dispone de un vivero comunal. Recientemente se ha adquirido una chipeadora, con la finalidad de procesar los residuos de poda. Con los mismos, se pretende efectuar tareas de compostaje para la obtención de abono. Este producto final sería empleado en el vivero comunal y, de haber un excedente, el mismo sería comercializado.

Respecto a la existencia de una normativa local de interés, cabe destacar la resolución comunal n°502. La misma regula la gestión de RSU de la comuna, y establece pautas para la construcción del relleno sanitario de la localidad (actualmente en funcionamiento), y su operación.

6.2.7. San Jerónimo del Sauce

La localidad no presenta un desarrollo GIRSU considerable, atendiendo a las características comunes de otras poblaciones menores.

Se realiza un servicio de recolección los días martes y viernes por las mañanas, para disponer los RSU en un BCA que cumple con la solución precaria y provisoria de mantener los residuos.

Si bien el gobierno comunal se responsabiliza por atender la situación, es observable la idiosincrasia ciudadana que, típicamente en algunas localidades pequeñas, recurren a la disposición personal en lugares no habilitados o sin respeto por la recolección programada.

Respecto a la existencia de una normativa local de interés, cabe destacar que la localidad adhiere a la ley provincial 13055 (“Ley de basura cero”), por medio de una ordenanza comunal.

6.2.8. San Carlos Norte

La comuna de San Carlos Norte no presenta un desarrollo considerable en materia GIRSU.

Actualmente, no existe una política de separación de RSU en origen. Se dispone de un servicio de recolección convencional (sin clasificación) que capta los desechos dispuestos en bolsa plásticas sobre acera. La presencia de cestos de residuo en altura solo se observa en algunos domicilios particulares, al mismo tiempo que no se detecta el empleo de otro tipo de contenedores para la disposición inicial de los desechos.

Los residuos captados por el sistema de recolección son vertidos en un BCA Comunal. Este no cuenta con ningún tipo de medida de protección del medio ambiente.

Los miembros de dos familias carenciadas de la zona realizan la recuperación de materiales reciclables en el vertedero empleado para la disposición final de residuos. Estos individuos se enfocan en la obtención de piezas de metal, plásticos, papel y cartón, para su posterior comercialización. Se trata de una actividad que, atendiendo a la necesidad económica y compleja situación social de estas personal, la comuna permite que se desarrolle. Sin embargo, es una actividad informal que no se efectúa bajo supervisión ni en relación laboral con la administración local.

Si bien esta recuperación informal permite reducir en cierta medida en volumen de residuos dispuestos en el terreno, se trata de una fracción muy reducida y poco significativa.

Respecto a la existencia de una normativa local de interés, cabe destacar que la localidad adhiere a la ley provincial 13055 (“Ley de basura cero”), por medio de una ordenanza comunal.

6.2.9. San Carlos Sud

La situación actual en materia GIRSU de la localidad de San Carlos Sud es directamente comparable a la existente en la comuna vecina de San Carlos Norte.

No se dispone de un sistema desarrollado. Solo se posee un servicio de recolección, que traslada los desechos a un vertedero comunal, para su disposición a cielo abierto.

Los mismos recolectores informales, mencionados en el caso de San Carlos Norte, desarrollan sus actividades en el basural de este pueblo.

Respecto a la existencia de una normativa local de interés, cabe destacar que la localidad adhiere a la ley provincial 13055 (“Ley de basura cero”), por medio de una ordenanza comunal.

6.2.10. San Carlos Centro

En la actualidad, el gobierno de San Carlos Centro lleva adelante el programa “San Carlos Limpio”, destinado a la separación de residuos sólidos urbanos en origen y su recolección diferenciada. Este servicio solo se presta a algunos sectores de la ciudad. Paulatinamente, nuevas áreas del municipio son incorporadas a la ruta de recolección diferenciada, aspirándose a cubrir a la totalidad de la población para fines del año 2019. Los desechos urbanos son diferenciados en dos fracciones:

- Orgánicos: desechos vegetales, sobrantes de comida, etc.
- Inorgánicos: botellas de vidrio o plásticos, cartón y papeles secos y limpios, trapos, metales, electrodomésticos, etc.

Para la recolección de residuos sólidos, se emplea camión con caja volcadora.

Adicionalmente, la municipalidad presta un servicio de recolección especial de aceite vegetal, utilizados en comercios gastronómicos y fábricas de artículos de copetín. Por otro lado, se dispone de un servicio de barrido y limpieza de calles, empleando de un vehículo especializado para dicha tarea.

Con respecto a los residuos orgánicos, se incentiva para que se proceda a su transformación por medio de tareas de compostaje domiciliario, obteniendo abono para su empleo en huertas o jardines. Quienes optan por esta alternativa son premiados con una bonificación en la Tasa General de Inmuebles Urbanos. Para ello, los vecinos deben presentarse en la sede Municipal a los efectos de comunicar su iniciativa y pautar la visita al domicilio a los efectos de verificar el desarrollo de las tareas mencionadas. Pese a las medidas adoptadas, la fracción de la población que adhiere a esta política es limitada y la contabilización y control precisos del número de vecinos que lo hacen resulta ser compleja.

La presencia de cestos de residuos, para la disposición inicial de los RSU en la vía pública, se observa sólo en algunos domicilios particulares y comercios. Puede

observarse la presencia de bolsas plásticas situadas directamente sobre la acera, generando un impacto negativo sobre la estética y la higiene de la vía pública.

Desde el inicio de la actual gestión de gobierno, se llevaron a cabo acciones y obras para la recuperación y puesta en valor del galpón destinado a la separación y el procesamiento de los RSU construido en 2005; y que a partir de 2008 quedó abandonado y vandalizado, con la consecuente destrucción de las instalaciones y la desaparición de elementos necesarios para su funcionamiento. Hoy en día, el galpón cuenta con una cinta transportadora para selección, una prensa-compactadora hidráulica, herramientas, sanitarios y espacio para realizar la clasificación de residuos. De esta forma, ha quedado constituida una planta donde se efectúa la recuperación de vidrio, cartón y papel, plástico duro y chatarra (piezas de metal). El papel y el cartón obtenidos, son compactados (por medio de la prensa hidráulica mencionada) conformándose fardos de material para su comercialización. A principios del año 2018 se obtuvo una carga de materiales recuperados compuesta por 256 fardos de polietileno, nylon y envases plásticos, que totalizaron 18850(Kg) y a lo que deben sumarse 7500(Kg) de vidrio. Fueron entregados 3700(Kg) de cartón, 5200(Kg) de chatarra y 1200(Kg) de plástico duro para su reindustrialización, entregados a distintas empresas locales.

Algunos de los recolectores informales, que antiguamente realizaban recuperación de materiales para reventa en el basural municipal, han sido incorporados para el desarrollo de tareas reguladas en la planta de recuperación.

El principal problema de la gestión actual de residuos en esta localidad, radica en la disposición final de RSU. Los materiales que no pueden ser recuperados en la planta existente son vertidos en un BCA municipal sobre el camino rural nro. 18, sin ninguna medida de protección contra la infiltración de lixiviados, las emisiones a la atmósfera (que pueden tener lugar ante los eventuales incendios producidos en el basural) y la proliferación de vectores sanitarios. De esta manera, queda constituida una situación irregular, que no se enmarca dentro de la normativa legal provincial vigente, y genera una serie de impactos negativos sobre el medio y las condiciones sanitarias de la población.

Respecto a la existencia de una normativa local de interés, se pueden resaltar los siguientes documentos legales:

- Código municipal de faltas

- Ordenanza n°663/11: Mediante la misma, se solicita al gobierno de la provincia de Santa Fe, el otorgamiento de un subsidio para la adquisición de equipos para una planta clasificadora de RSU.
- Ordenanza n°104/90: Delimitación de la zona urbana.
- Ordenanza n° 411/99: Ordenamiento urbano

6.2.11. San Agustín

En la actualidad no existe materializada en la localidad una gestión integral de residuos, aunque ciertos proyectos dan cuenta del interés político de implementarla. Como parte del plan de urbanización nombrado con anterioridad, la puesta en marcha de una IRM es prevista; y tanto su funcionamiento como la separación de residuos en origen se proyectan como meta para el siguiente período de gobierno comunal.

La recolección se realiza actualmente con un único camión volcador que recorre la localidad de a tramos, tres días a la semana, pero la cuadrícula ordenada y la idiosincrasia de la población evitan problemas de RSU en la vía pública. Tal facilidad es interpretada por la comuna como una señal de que campañas de concientización y educación para la separación en origen pueden ser implementadas sin inconvenientes.

La disposición final responde a la situación más urgente a resolver, ya que la comuna recurre en la actualidad a un BCA, disponiendo el residuo sin controles y reduciendo su volumen mediante la quema, en una cava a 5(Km) del centro urbano. A la actualidad, no se plantea ninguna solución al tratamiento de materia orgánica, más que el sistema de lagunaje previsto para la futura estación de aguas residuales.

No se ha identificado la existencia de una normativa local referida al uso de suelos, planeamiento urbano, ni gestión de residuos sólidos urbanos.

6.2.12. Matilde

Hoy en día, la comuna de Matilde no presenta un sistema de gestión de residuos sólidos que abarque la problemática de forma adecuada e integral.

Con respecto a la manipulación y separación en origen, no se dispone de ninguna política para la división de residuos en fracciones. Consecuentemente, se dispone de un servicio de recolección convencional (sin clasificación).

En cuanto a la disponibilidad de máquinas y equipos, es posible destacar la existencia de un camión volcador de propiedad de la comuna, empleado para la prestación del servicio de recolección de RSU.

Los residuos captados por tal sistema son vertidos en un BCA. De tal manera, queda constituida una modalidad de vertidos que genera impactos negativos sobre el medio ambiente y las condiciones sanitarias de la población.

No se ha identificado la existencia de una normativa local referida al uso de suelos, planeamiento urbano, ni gestión de residuos sólidos urbanos.

6.2.13. Sauce Viejo

En la actualidad, la comuna cuenta con dos servicios de recolección gestionados por privados. Uno atiende la localidad, dividiéndola en dos circuitos (norte y sur) por donde camiones compactadores recogen el RSU de los domicilios y contenedores adaptados (para el caso de zonas inundables, donde el acceso es restringido); funcionando la recolección tres días a la semana y sin contemplar ninguna separación en origen. El otro servicio es exclusivo del parque industrial; y su gestión es reservada entre el privado y las industrias que lo utilizan, a razón de los desechos específicos que significa cada actividad alojada.

La disposición final de residuos sólidos se realiza en el relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe, con el cual la comuna tiene un convenio, pero significa una impracticidad que bien podría ser reemplazada por una solución local. Actualmente los camiones recorren 35(Km) entre recolección y transporte para disponer los residuos.

La tasa de generación de RSU en Sauce Viejo resulta baja, con una medida promedio anual de 0,815(Kg/hab/día) según registra el complejo santafesino; siendo más elevada en la temporada estival, cuando turistas y residentes de verano visitan la localidad. Aun siendo este un valor per cápita relativamente bajo, significa un aporte de residuos importante, en relación a la capacidad cada vez más reducida de la obra de infraestructura.

Otras medidas públicas en materia de RSU fueron tomadas o se encuentran en gestión actualmente, como talleres de compostaje casero para huertas domiciliarias o la implementación de puntos limpios para la recuperación de materiales; pero se tratan de esfuerzos aislados cuyo impacto no se pondera a nivel integral. Particularmente, se carece de un plan de acción para los residuos de poda y materia orgánica, cuya disposición final queda en manos de los particulares o se realiza por la comuna a la vera del río Coronda.

En la siguiente serie de tablas, se resume el desarrollo en materia GIRSU de cada una de las localidades, detallado a lo largo de esta sección (ver Tablas 6.1 y 6.2).

LOCALIDAD	SEPARACIÓN EN ORIGEN	SERVICIO DE RECOLECCIÓN	RECUPERACIÓN DE MATERIALES	TRANSFORMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA	DISPOSICIÓN FINAL	ANTECEDENTES DE SISITEMA GIRSU
Humboldt	Diferenciada entre orgánico e inorgánico suspendida. Vidrio y cartón por motus propio.	Funcional con regularidad, separación por días de la semana.	Vidrio y Cartón de manera particular por la asociación de Bomberos Voluntarios.	Actualmente ninguna. Cuenta con instalaciones para la realización de compostaje.	BCA y quema.	Programa de separación de RSU y compostaje comunal. Parte del consorcio “Las Colonias”.
Esperanza	Diferenciada entre orgánico e inorgánico.	Funcional con regularidad, separación por días de la semana.	Planta de Recuperación “Nuevo LIMPEs”. Papel, plástico, vidrio, latas y cartón para reciclaje.	Actualmente ninguna.	Relleno sanitario local.	Parte del consorcio “Las Colonias”.
Santa María Norte	Inexistente.	Inexistente.	Inexistente.	Inexistente.	Particular.	No.
San Jerónimo Norte	Diferenciada entre orgánico e inorgánico.	Funcional con regularidad, separación por días de la semana.	IRM y bunkers de almacenamiento. Plástico, polietileno expandido, cartón, papel, latas, vidrio y envases para reciclaje.	Actualmente ninguna.	BCA y quema.	Parte del consorcio “Las Colonias”.
Las Tunas	Diferenciada entre orgánico e inorgánico.	Funcional con regularidad, separación por días de la semana.	Inexistente. Se pierde el trabajo de separación previo.	Actualmente ninguna.	BCA y quema.	No.
Franck	Diferenciada entre húmedo y seco.	Funcional con regularidad, separación por días de la semana.	Planta de Recuperación “FIMA”. Plástico, vidrio y cartón para embalaje y comercialización.	Proyecto de compostaje comunal.	Relleno sanitario local.	No.

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 6.2 | Resumen de situación GIRSU (a)

LOCALIDAD	SEPARACIÓN EN ORIGEN	SERVICIO DE RECOLECCIÓN	RECUPERACIÓN DE MATERIALES	TRANSFORMACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA	DISPOSICIÓN FINAL	ANTECEDENTES DE SISTEMA GIRSU
San Jerónimo del Sauce	Inexistente.	Funcional con irregularidades.	Inexistente.	Inexistente.	BCA y quema.	Parte del consorcio “Las Colonias”.
San Carlos Norte	Inexistente.	Funcional con regularidad.	Informal. Metal, plástico, papel y cartón para comercialización.	Inexistente.	BCA y quema.	Parte del consorcio “Las Colonias”.
San Carlos Centro	Diferenciada entre orgánico e inorgánico en implementación. Aceite vegetal por parte de negocios gastronómicos e industrias	Funcional con regularidad, separación por días de la semana. Recolección especial para el aceite destinada a reciclaje.	IRM y bunkers de almacenamiento. Plástico, cartón, papel, chatarra, vidrio y envases para embalaje y comercialización.	Política pública de compostaje domiciliario.	BCA y quema.	Programa vigente, antes discontinuado.
San Carlos Sud	Inexistente.	Funcional con regularidad.	Informal. Metal, plástico, papel y cartón para comercialización.	Inexistente.	BCA y quema.	Parte del consorcio “Las Colonias”.
San Agustín	Inexistente.	Funcional con regularidad.	Inexistente.	Inexistente.	BCA y quema.	Programa provincial de ordenamientos urbanos.
Matilde	Inexistente.	Funcional con regularidad.	Inexistente.	Inexistente.	BCA y quema.	No.
Sauce Viejo	Inexistente. Proyecto de disposición inicial diferenciada (“puntos verdes”)	Funcional con regularidad. Concesiones privadas separadas (urbana e industrial)	Inexistente.	Inexistente.	Relleno sanitario de Santa Fe.	Programa de compostaje domiciliario.

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 6.3 | Resumen de situación GIRSU (b)

6.3. Antecedente de Consorcio GIRSU

Mediante la realización del relevamiento preliminar (por medio del contacto con autoridades de distintas comunas y municipios del área de estudio) se ha detectado que en el Departamento Las Colonias existe un antecedente de conformación de un consorcio GIRSU. Dicho consorcio, que abarca algunas de las localidades estudiadas en este proyecto, ha sido exitosamente reglamentado, pero nunca ha podido concretarse la materialización de obras y una gestión regional. En el presente apartado, se procede a la descripción de dicho antecedente.

En el año 2016, por medio de la Resolución n°385/16 del Ministerio de Medio Ambiente de la Provincia, fue conformado el Consorcio GIRSU “Departamento Las Colonias” integrado por 21 localidades: Cavour, Culú, Grutly, Humbolt, Felicia, La Pelada, María Luisa, Providencia, Pilar, Pujato Norte, Progreso, Nuevo Torino, San Pereira, San Jerónimo Norte, San Carlos Norte, San Carlos Sur, San Jerónimo del Sauce, Santo Domingo, Sarmiento y Esperanza. Para concretar la conformación del consorcio, cada una de las localidades integrantes debió dictar una ordenanza, para la adhesión de la misma a la ley provincial 13055.

Una vez constituido el consorcio, se elaboró el proyecto para la gestión de los residuos sólidos. Se definió la construcción de un relleno sanitario en la ciudad de Esperanza y dos estaciones de transferencia (una en la localidad de San Jerónimo Norte y otra en la de Progreso).

Pese a la formación de un consorcio y a la elaboración de un proyecto, el mismo nunca obtuvo el financiamiento requerido para su ejecución. Este fracaso ha conducido a que cada localidad continúe con su propia gestión de RSU, llevando a la situación y problemática actual.

En el caso particular del municipio de Esperanza, al no concretarse el financiamiento y puesta en marcha de un sistema GIRSU regional, se efectuó la adquisición de máquinas, equipos e infraestructura requeridos para el manejo de los desechos de la localidad. De esta forma, se puso en funcionamiento la Planta de Recuperación “Nuevo LIMPES”, mencionada previamente. También se realizó la construcción de un relleno sanitario, adecuado para el vertido de los RSU de la ciudad.

De las localidades contempladas por este antecedente, actualmente solo Esperanza posee un sistema GIRSU funcional; y es la única que se enmarca dentro de la normativa legal vigente. En las restantes comunas y municipios, el manejo de los desechos continúa siendo una situación problemática desde el punto de vista ambiental, legal y de salud pública.

Una de las autoridades de la comuna de San Carlos Norte, por medio de una entrevista telefónica realizada durante el mes de Marzo de 2019, ha manifestado a los autores algunas consideraciones sobre la situación poco ventajosa para la localidad, que se deriva de la constitución del consorcio. En primer lugar, manifiesta que el proyecto diseñado implicaba costos demasiado elevados para la construcción de las obras previstas; principal motivo de que la obtención de financiamiento no haya sido exitosa. En segundo lugar, como ya se ha comentado, se preveía el posicionamiento de un relleno sanitario en la ciudad de Esperanza. Esto constituye una seria desventaja geográfica para San Carlos Norte, ya que las distancias (y costos asociados) para el traslado de sus desechos, serían demasiado elevadas. La situación de otras localidades como San Carlos Sur, sería incluso más crítica. Si bien se contempló la construcción de una estación de transferencia en San Jerónimo Norte, el traslado hasta allí y luego al relleno sanitario debía ser afrontado por cada localidad. Cabe recordar que se trata de comunas pequeñas, con escaso número de habitantes y, consecuentemente, una capacidad recaudatoria reducida. La etapa operativa del proyecto diseñado implicaba también costos altos para garantizar un buen funcionamiento. Ante el inconveniente descrito, esta autoridad nos ha expuesto su interés en alternativas más “locales”, que permitan abordar una solución regional al problema de base, pero reduciendo las distancias requeridas para el traslado de RSU.

Por otro lado, resulta importante destacar que el consorcio constituido en el pasado no contemplaba localidades como San Carlos Centro (con un número de habitantes considerable) San Agustín, Matilde, Santa María Norte o las Tunas, que presentan una geolocalización relevante, dentro de una posible área de alcance para una solución regional; presentando una problemática similar a las restantes poblaciones.

De esta manera, en la propuesta y selección de alternativas para el presente proyecto se busca tener en consideración las situaciones, desventajas y dificultades observadas en este antecedente.

6.4. Caracterización demográfica

Como ya ha sido explicado en la tercera unidad de este documento, contar con un dato actualizado del número de habitantes de las localidades involucradas permite identificar al número de vecinos que pueden ser beneficiados por cada una de las alternativas que se proponen. A su vez, se trata de un parámetro necesario para determinar el volumen (cantidad) de RSU producidos por la población.

Como base, se recurre al empleo de la información proporcionada por los censos estadísticos realizados por el organismo INDEC Argentina en los años 1991, 2001 y 2010. Mediante la realización de consultas directas a las autoridades municipales o comunales, también se han obtenido datos relevados por las mismas en los años 2015 y 2018.

A través de la aplicación de los tres métodos post-censales ya explicados (Sección 3.3.1) se efectúa la estimación de la población actual (año 2019). Los valores resultantes de cada método son promediados entre ellos, obteniéndose así el número de habitantes de cada localidad.

A continuación, se presenta una tabla en la que se resumen los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología descripta.

Seguidamente, otras dos tablas son expuestas. Se tratan de los resultados obtenidos para la estimación de población de cada localidad, para todos los años comprendidos por el período de diseño del proyecto (20 años).

LOCALIDAD	POBLACIÓN (hab)										
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Humboldt	5231	5277	5323	5369	5415	5462	5508	5555	5602	5649	5696
Esperanza	47322	48043	48770	49502	50241	50986	51737	52495	53259	54030	54808
Santa María Norte	242	243	244	245	246	247	248	249	251	252	253
San Jeronimo Norte	6981	7033	7085	7138	7191	7244	7297	7350	7404	7458	7511
Las Tunas	584	587	590	592	595	598	600	603	606	609	611
Franck	6795	6945	7097	7249	7404	7559	7716	7875	8035	8197	8360
San Jeronimo del Sauce	905	900	896	893	888	884	880	876	872	868	864
San Carlos Norte	1167	1177	1189	1200	1211	1222	1233	1244	1255	1267	1278
San Carlos Centro	12816	12975	13135	13296	13458	13621	13784	13948	14113	14278	14445
San Carlos Sur	2254	2270	2286	2301	2317	2333	2348	2364	2380	2396	2412
San Agustin	1609	1666	1723	1782	1841	1901	1963	2025	2089	2154	2220
Matilde	968	970	973	975	977	980	982	984	986	988	991
Sauce Viejo	10596	10864	11137	11415	11698	11986	12279	12577	12881	13192	13508

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 6.5 | Población estimada por localidad (período 2020-2030).

LOCALIDAD	POBLACIÓN (hab.)									
	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Humboldt	5744	5791	5839	5887	5935	5983	6032	6080	6129	6178
Esperanza	55593	56385	57185	57993	58808	59632	60463	61303	62152	63009
Santa María Norte	254	255	256	257	258	259	261	262	263	264
San Jeronimo Norte	7565	7619	7674	7727	7782	7837	7892	7947	8002	8058
Las Tunas	614	617	619	622	625	628	631	633	636	639
Franck	8525	8692	8860	9030	9202	9377	9552	9730	9910	10092
San Jeronimo del Sauce	860	856	852	848	843	840	836	831	828	824
San Carlos Norte	1289	1301	1312	1324	1335	1347	1359	1371	1383	1395
San Carlos Centro	14612	14781	14950	15120	15291	15462	15635	15809	15984	16159
San Carlos Sur	2428	2444	2460	2476	2492	2509	2525	2541	2557	2574
San Agustin	2288	2357	2428	2500	2573	2649	2726	2805	2885	2968
Matilde	993	995	998	1000	1002	1004	1006	1009	1011	1013
Sauce Viejo	13830	14160	14496	14840	15191	15550	15917	16293	16677	17071

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 6.6 | Población estimada por localidad (período 2031-2040).

6.5. Características climáticas

En términos generales, el clima de la Provincia de Santa Fe se define como subtropical húmedo, correspondiente a “Bosque Húmedo Templado Cálido-Subtropical”, para el sistema de zonas de vida de Leslie Holdridge.

Se destaca la existencia de cuatro estaciones claramente definidas, siendo su estación calurosa el período desde Octubre hasta Abril.

6.5.1. Temperatura y humedad

La temperatura media anual se encuentra en torno a los 18(°C). Durante la estación de invierno, las temperaturas suelen oscilar entre los 6(°C) y los 18(°C); con mínimas registradas de aproximadamente -8(°C) y humedad media del 65%. En el verano, el promedio de temperatura oscila entre los 18(°C) y los 31(°C); con máximas registradas en torno a los 45(°C) y humedad media de 55%.

En verano, llegan a la región masas de aire tropical cálidas y húmedas, con vientos del norte que traen altas temperaturas. En inviernos, ingresan masas de aire polar que producen enfriamientos y heladas ocasionales.

6.5.2. Vientos

En términos generales, los vientos más destacados en la provincia de Santa Fe son el norte (seco y sofocante); el pampeano o viento sur (frío, violento y seco, con incidencia desde el sudoeste) y la sudestada (viento húmedo). En condiciones climáticas desfavorables, se han registrado eventos de vientos huracanados en la región.

Para efectuar una correcta caracterización de esta variable en el área de estudio, se han empleado los registros correspondientes a la estación meteorológica automática EEA Rafaela, del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Debido a la proximidad geográfica de la ciudad de Rafaela con el área de estudio, se entiende que la información obtenida por la estación mencionada es representativa.

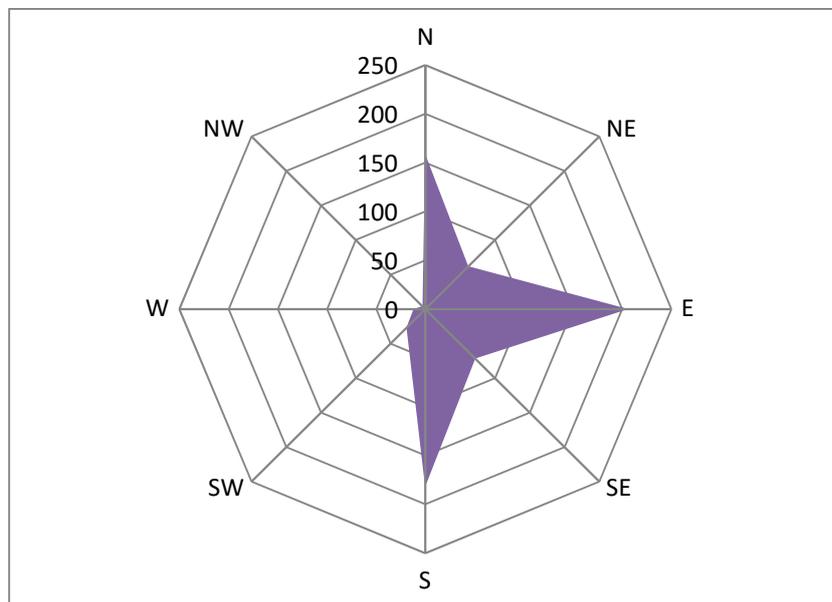
Se han analizado estadísticamente los registros obtenidos por INTA en el período comprendido entre Enero de 2015 y Mayo de 2019, concluyéndose que las direcciones Este, Norte y Sur son las preponderantes para los vientos de la zona (presentan mayor frecuencia de días que el resto).

DIRECCIÓN DE VIENTO / FRECUENCIA SERIE HISTÓRICA: ENERO 2015 - MAYO 2019							
N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
159	62	206	72	182	27	12	4

*Fuente: Elaboración propia

Tabla 6.7 | Vientos Preponderantes

En el siguiente gráfico, se muestra la dirección del viento y su frecuencia correspondiente, definida por el número de días (dentro del período mencionado) en los que se han registrado vientos provenientes de cada dirección.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 6.1 | Vientos Preponderantes

6.6. Características hidrológicas

6.6.1. Cuencas hidrográficas

La provincia de Santa Fe, se caracteriza por la presencia de un total de 11 cuencas hidrográficas, que definen el drenaje natural de las aguas.

El área de estudio comprendida por este proyecto, se encuentra bajo la influencia de 3 cuencas hidrográficas: Cuenca Río Salado, Cuenca Arroyo Colastiné, y en menor medida la Cuenca Río Paraná.



*Fuente: IDESF

Figura 6.2 | Cuencas en área de Estudio

6.6.2. Régimen de Precipitaciones

En la provincia de Santa Fe existe un rango de variación de la precipitación media anual, que va desde 850 mm hasta 1400 mm, dependiendo de la zona analizada.

En términos generales, en el área de estudio de este proyecto, se posee un régimen de lluvias que oscila entre los 950 y 1100 mm anuales.



*Fuente: S. Gómez, Base de Datos Agroclimática ICyA. CIRN serie 1981/2005

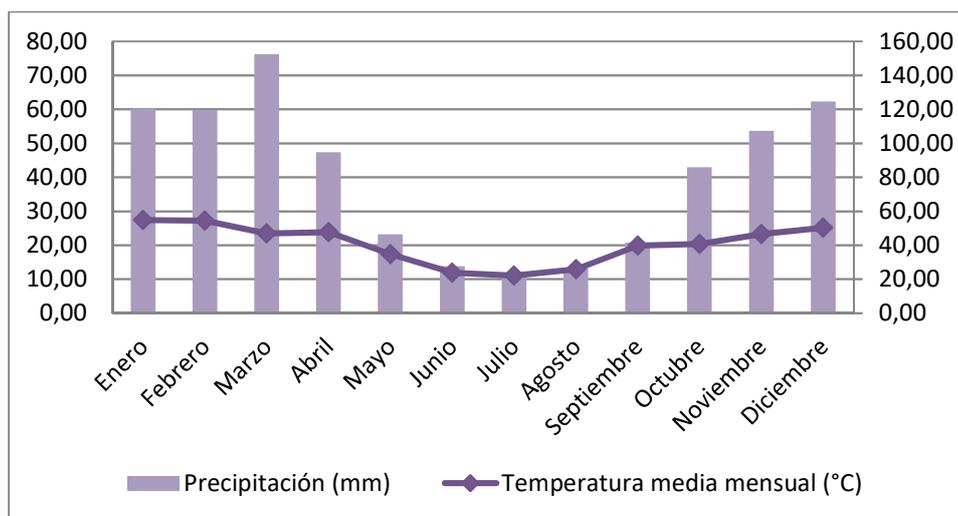
Figura 6.3 | Precipitación media anual (mm) – Provincia de Santa Fe

Con el objetivo de contar con datos más precisos, se procede al análisis de los registros pluviométricos obtenidos por la Estación Experimental Agropecuaria Rafaela (EEA) del INTA.

Mes	Temperatura media mensual (°C)	Precipitación (mm)
Enero	27,40	120,40
Febrero	27,20	119,50
Marzo	23,50	152,30
Abril	23,90	94,60
Mayo	17,40	46,40
Junio	11,90	27,60
Julio	11,10	22,00
Agosto	13,00	26,50
Septiembre	19,90	41,60
Octubre	20,40	85,80
Noviembre	23,30	107,20
Diciembre	25,20	124,60

*Fuente: INTA EEA Rafaela

Tabla 6.8 | Precipitaciones y temperaturas medias mensuales (INTA EEA Rafaela) – Serie histórica 1930 a 2017



*Fuente: Elaboración propia

Figura 6.4 | Climograma Rafaela – Serie Histórica 1930 a 2017

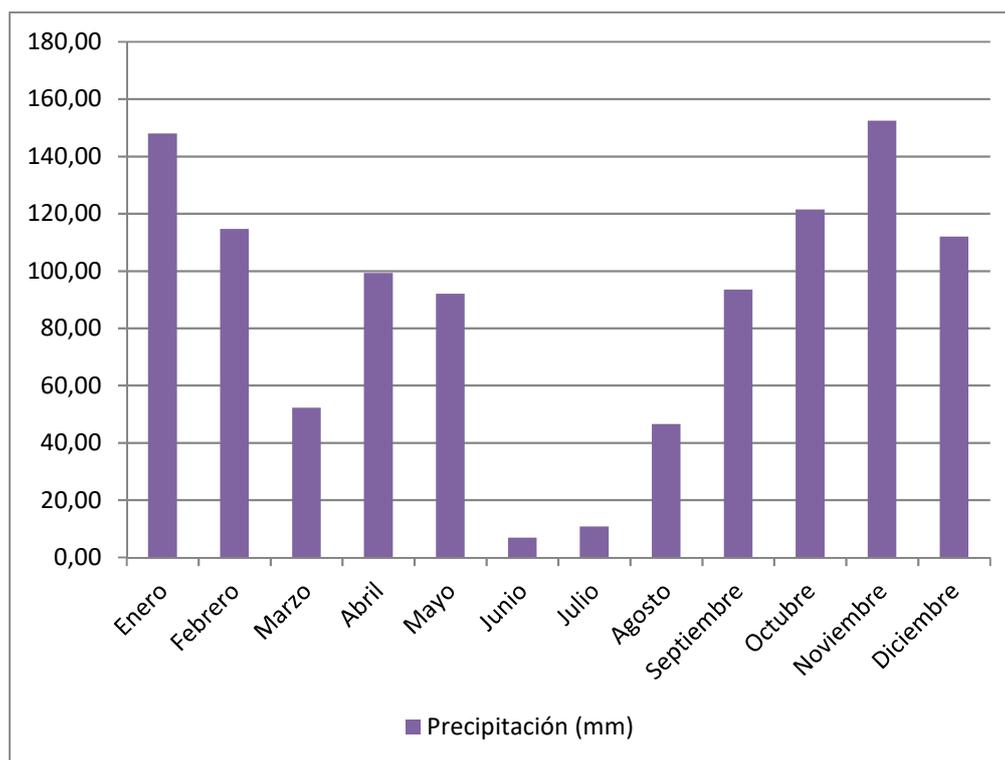
Se aprecia un régimen de lluvias con un promedio de 968,50 mm anuales, y valores pico de 152,30 mm mensuales (registrados en el mes de Marzo). Las precipitaciones se suelen concentrar principalmente en el período de verano. Durante los meses de Julio y Agosto, se registran los mínimos valores de alrededor de 25 mm mensuales.

De forma similar, se analizan las mediciones pluviométricas registradas en la localidad de San Carlos Centro, por la sociedad Rural de San Carlos.

Mes	Precipitación (mm)
Enero	148,00
Febrero	114,67
Marzo	52,23
Abril	99,33
Mayo	92,00
Junio	6,85
Julio	10,80
Agosto	46,60
Septiembre	93,50
Octubre	121,50
Noviembre	152,50
Diciembre	112,00

*Fuente: Sociedad Rural de San Carlos

Tabla 6.9 | Precipitación media mensual (San Carlos Centro) – Serie 2017 a 2019



*Fuente: Elaboración propia

Figura 6.5 | Precipitación media mensual (San Carlos Centro) – Serie 2017 a 2019

Se aprecia un régimen de lluvias con un promedio de 1049,98 mm anuales, y valores pico próximo a los 150 mm mensuales. Existe una cierta tendencia de las precipitaciones, a concentrarse principalmente en el período de verano. Durante los meses de invierno, se registran los mínimos valores.

Se observa una clara similitud entre los registros pluviométricos obtenidos en ambas localidades.

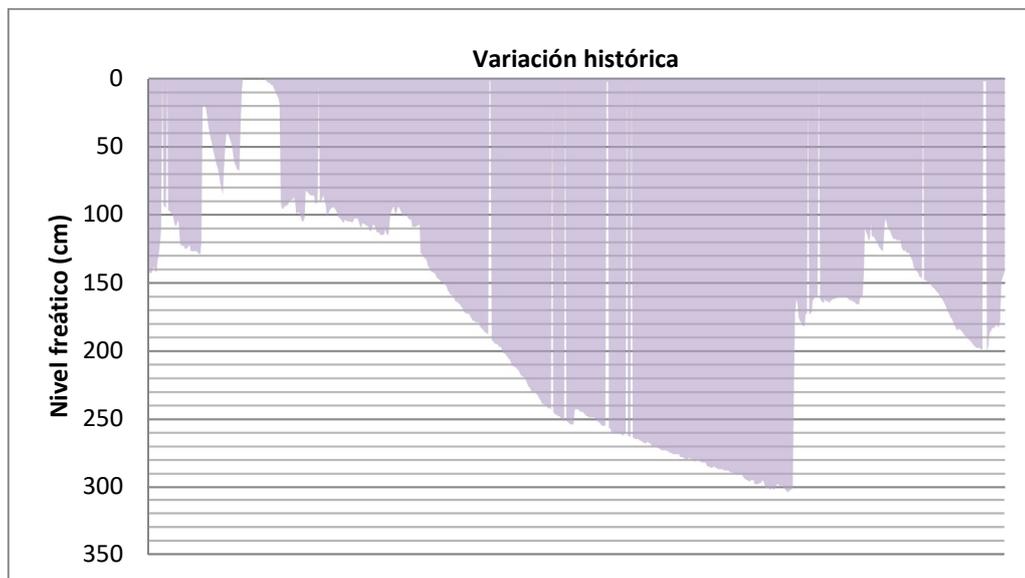
Debido a la localización geográfica de las comunas y municipios estudiados, se considera que los datos obtenidos son lo suficientemente representativos a los fines de este proyecto.

6.6.3. Niveles freáticos

Como se ha mencionado previamente, para garantizar un mínimo impacto negativo sobre el medio natural y social, y proporcionar soluciones adecuadas a la normativa legal provincial para el vertido de RSU, resulta necesario recurrir a la proyección y construcción de un Relleno Sanitario. Para el diseño de este tipo de obras y la ejecución de tareas de movimiento de suelo, resulta ser importante el conocimiento de los niveles freáticos históricos.

La única serie histórica obtenida, que releva mediante un amplio conjunto de mediciones los niveles de la napa freática en la zona, es proporcionada por el organismo INTA Rafaela. Los datos completos correspondientes, pueden ser consultados en el Anexo 03 de este documento.

Se posee información relativa a esta variable, en el período comprendido entre Agosto de 2015 y Mayo de 2019. Las profundidades registradas son analizadas estadísticamente, obteniéndose un promedio historio de 167,65 cm bajo el nivel de terreno natural.



**Fuente: Elaboración propia*

Figura 6.6 | Nivel Freático Rafaela – Serie Histórica

En el Anexo 04, pueden ser consultadas las coordenadas de ubicación de los puntos de sondeo mencionados.

Analizando los resultados de las mediciones mencionadas, y a los fines prácticos del presente proyecto, se asume un nivel freático ubicado a **1,70 m** bajo el nivel de terreno natural. Nótese que esta magnitud resulta ser conservadora, frente al promedio de los valores observados en los distritos de Nuevo Torino, Humboldt, Pilar, Franck, San Jerónimo Norte, Las Tunas, San Carlos Norte y San Carlos Centro.

6.6.4. Cuerpos de agua superficiales

Las localidades comprendidas dentro del área de estudio, se encuentran en proximidad a distintos cuerpos de aguas superficiales.

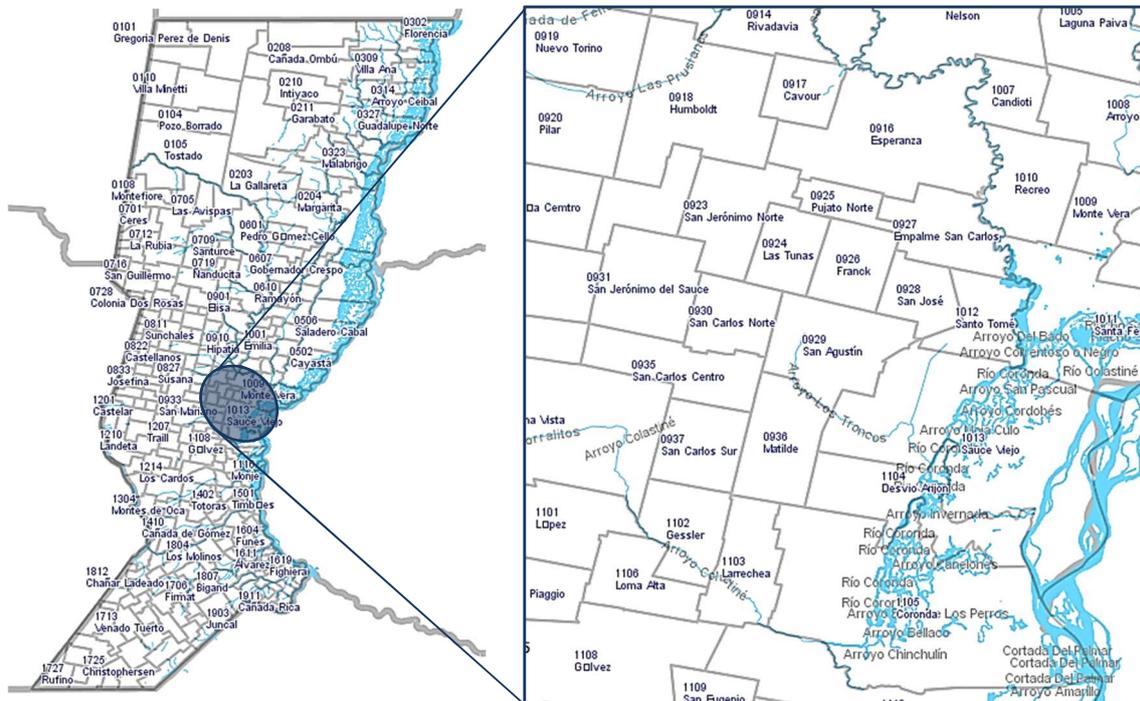
Los dos de mayor envergadura son:

- A. Río Coronda, al oeste del cual se encuentra erigida la localidad de Sauce Viejo.
- B. Río Salado, situado aproximadamente a 4,5(Km) al norte de la ciudad de Esperanza

Así mismo, se pueden distinguir otros cursos de menor magnitud, pero que también deben ser contemplados en el análisis:

1. Arroyo Las Prusianas
2. Arroyo Colastiné
3. Arroyo Los Troncos
4. Cañada de Malaquías

A continuación, se presenta una imagen cartográfica donde pueden visualizarse los distintos distritos y cuerpos de aguas superficiales próximos al área de estudio.



*Fuente: IDESA

Figura 6.7 | Cuerpos de aguas superficiales (a)



*Fuente: IDESF

Figura 6.8 | Cuerpos de aguas superficiales (b)

Además de estos cuerpos de agua definidos, corresponde al presente proyecto caracterizar la inundabilidad del área de estudio. Como tal factor es especialmente relevante a la hora de decidir una localización apropiada de un complejo ambiental, se reserva su desarrollo para un análisis posterior (Sección 7.1.3. “Localización del complejo ambiental”).

7.1.1.3. Alternativa A3

Esta propuesta surge como una combinación de las alternativas A1 y A2. Abarca a las siguientes localidades:

- San Jerónimo Norte
- Las Tunas
- San Jerónimo del Sauce
- San Carlos Norte
- San Carlos Centro
- San Carlos Sur
- San Agustín
- Matilde
- Sauce Viejo



**Fuente: Elaboración propia*

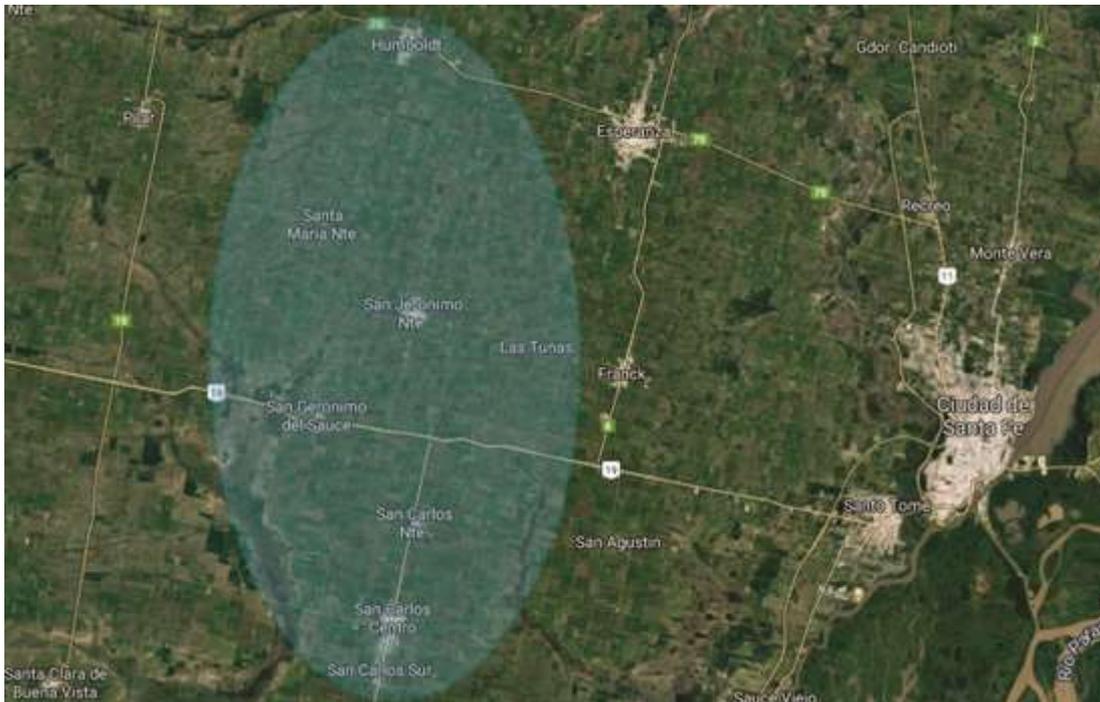
Figura 7.6 | Alternativa A3

Por medio de este consorcio GIRSU se logra cubrir a una población total de 37322 personas, contándose con una amplia extensión superficial.

7.1.1.4. Alternativa A4

Esta propuesta abarca a las siguientes localidades:

- Humboldt
- Santa María Norte
- San Jerónimo Norte
- Las Tunas
- San Jerónimo del Sauce
- San Carlos Norte
- San Carlos Centro
- San Carlos Sur



**Fuente: Elaboración propia*

Figura 7.7 | Alternativa A4

Por medio de esta alternativa se logra cubrir a una población total de 29898 personas.

7.1.1.5. Alternativa A4'

Esta propuesta surge como una variante de la alternativa A4. Abarca a las siguientes localidades:

- Humboldt
- Santa María Norte
- San Jerónimo Norte
- Las Tunas
- San Jerónimo del Sauce
- San Carlos Norte
- San Carlos Centro
- San Carlos Sur
- San Agustín (*localidad incorporada en esta variante*)



*Fuente: Elaboración propia

Figura 7.8 | Alternativa A4'

Por medio de este consorcio GIRSU se logra cubrir a una población total de 31452 personas.

7.1.2. Predimensionamiento del complejo ambiental

Para poder llevar adelante una adecuada selección del emplazamiento del complejo ambiental, es necesario conocer los requerimientos espaciales del mismo. Por ello, a lo largo de esta sección se efectúa el predimensionamiento del predio requerido por cada una de las alternativas que se proponen.

Proyección de la población

En primera instancia es necesario conocer el número de habitantes servidos por las distintas alternativas, para cada uno de los años comprendidos dentro del período de diseño.

Como ya ha sido mencionado, se adopta un período de 20 años para este proyecto. Asumiéndose el 2020 como año de inicio, se calcula el número de personas englobadas por cada propuesta, como la suma del número de habitantes proyectados para cada localidad.

ALTERNATIVAS	POBLACIÓN (hab.)										
	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
A1	29410	29922	30443	30969	31502	32043	32589	33142	33704	34275	34854
A2	27284	27578	27877	28177	28478	28783	29087	29394	29705	30018	30332
A3	37880	38442	39014	39592	40176	40769	41366	41971	42586	43210	43840
A4	30180	30462	30748	31034	31321	31611	31898	32189	32483	32777	33070
A4'	31789	32128	32471	32816	33162	33512	33861	34214	34572	34931	35290

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 7.1 | Proyección poblacional por alternativa (2020 – 2030)

ALTERNATIVAS	POBLACIÓN (hab.)									
	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
A1	35440	36038	36644	37260	37884	38521	39168	39828	40497	41180
A2	30649	30970	31293	31617	31943	32276	32610	32946	33286	33630
A3	44479	45130	45789	46457	47134	47826	48527	49239	49963	50701
A4	33366	33664	33962	34261	34561	34865	35171	35474	35782	36091
A4'	35654	36021	36390	36761	37134	37514	37897	38279	38667	39059

*Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.2 | Proyección poblacional por alternativa (2031 – 2040)

Producción diaria de RSU

Para poder calcular la producción diaria de RSU (en unidades de kg/día) en cada alternativa, se efectúa el producto entre la población y la tasa de generación. De acuerdo a las indicaciones del Observatorio para la Gestión de RSU, esta tasa se fija en 1,006 (kg/habitante/día) al año 2010, con un incremento anual del 0,6%.

$$Producción\ diaria\ \left(\frac{kg}{día}\right) = Población\ (hab) \times Tasa\ de\ Generación(kg/hab/día) \quad (7.1)$$

Volumen diario total

El volumen de RSU producido por día, se determina como el cociente entre la producción diaria y la densidad de los desechos estabilizados en el relleno sanitario.

$$VT_{diario} \left(\frac{m^3}{día} \right) = \frac{Producción\ diaria \left(\frac{kg}{día} \right)}{Densidad\ de\ RSU \left(\frac{kg}{m^3} \right)} \quad (7.2)$$

En el presente proyecto, se recurre al empleo de las densidades de referencia del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS). Dichos datos se corresponden con lo indicado en el documento “Residuos Sólidos Urbanos Argentina” de CAMARCO. Se adopta entonces una densidad de 900 (kg/m³), para los RSU estabilizados en el relleno sanitario.

Volumen diario irrecuperable

De volumen total de residuos sólidos producido por la población, solo una fracción de los mismos será dispuesta en el Relleno Sanitario. Una porción de los desechos inorgánicos será recuperada en la IRM del complejo ambiental.

Teniendo en consideración los resultados obtenidos en la planta de recuperación de materiales de la ciudad de Santa Fe, y de acuerdo a lo establecido en la bibliografía consultada, se estima que aproximadamente el 20% del volumen correspondiente a la fracción inorgánica será recuperado. El 80% restante constituye el material de rechazo, el cual debe ser vertido en el relleno.

Es importante destacar que se ha comprobado la existencia de casos en los que el porcentaje de recuperación de materiales es mayor al adoptado en este proyecto. Sin embargo, sobreestimar la eficiencia de este proceso podría conducir al subdimensionamiento de las obras. Por otro lado, si la eficiencia de la planta de recuperación es mayor a la estimada inicialmente o aumenta a lo largo de los años, la vida útil del complejo también se verá incrementada.

En esta instancia, es importante recordar la composición de los RSU en Argentina, ya detallada en la tercera unidad del proyecto. Se habla entonces de una fracción orgánica del 50% (compuesta principalmente por restos alimenticios) y una fracción inorgánica del 38% (papel, cartón, tetrabrick, plásticos, vidrio, metales y textiles). El restante 12%, corresponde a residuos peligrosos y/o irrecuperables (derivados de las industrias y comercios de la zona residencial).

El volumen de residuos orgánicos dispuestos en el relleno, también resulta ser menor al generado por la población. Esto se debe a la reducción ocasionada durante el proceso de compostaje. En esta instancia de predimensionamiento, se decide adoptar una postura conservadora y considerar la totalidad del volumen mencionado.

Por otro lado, cabe mencionar que la incorporación de este tratamiento biológico, es prevista para una instancia posterior a la puesta en funcionamiento del complejo ambiental. Se prevé a futuro, recurrir a este proceso como medida para optimizar el funcionamiento e incrementar la vida útil del relleno sanitario.

$$V_{diario\ irrecoverable} \left(\frac{m^3}{día} \right) = VT_{diario} \left(\frac{m^3}{día} \right) \times (0,62 + 0,38 \times 0,8) \quad (7.3)$$

Volumen anual

Esta magnitud refiere al volumen total de RSU a ser enterrados cada año.

$$V_{anual} (m^3) = V_{diario\ irrecoverable} \left(\frac{m^3}{día} \right) \times 365 (día) \quad (7.4)$$

Volumen anual de cobertura

Una vez calculado el volumen anual de residuos que deben ser enterrados, el material inerte de cobertura (tierra) requerido, puede establecerse como un porcentaje del mismo. Siguiendo las recomendaciones planteadas por el catedrático George Tchobanoglous (Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos, 1994), se adopta una magnitud correspondiente al 20%.

$$V_{anual\ de\ cobertura} (m^3) = V_{anual} (m^3) \times 0,20 \quad (7.5)$$

Volumen total del relleno sanitario

El cálculo de las magnitudes mencionadas hasta aquí, es realizado para cada año del proyecto (período comprendido entre 2020 y 2040). Los valores resultantes son resumidos para cada una de las alternativas, y plasmados en una serie de tablas que pueden ser consultadas en el tomo de ANEXOS que acompaña a este documento (ver Anexo 06).

Como resultado del procedimiento expuesto, para cada alternativa se obtiene:

$$\bullet \quad V_{T \text{ de } RSU} = \sum_{i=2020}^{i=2040} V_{\text{anual } i} \quad (7.6)$$

$$\bullet \quad V_{T \text{ de cobertura}} = \sum_{i=2020}^{i=2040} V_{\text{anual de cobertura } i} \quad (7.7)$$

$$\bullet \quad V_{R.S.} = V_{T \text{ de } RSU} + V_{T \text{ de cobertura}} \quad (7.8)$$

La expresión **(7.8)** permite determinar el volumen total requerido para cada relleno sanitario.

Altura media del Relleno Sanitario

En esta instancia de predimensionamiento, para adoptar una altura media del relleno, es necesario tener en cuenta dos aspectos:

- Nivel Freático
- Capacidad portante del suelo

En términos generales, de acuerdo a lo establecido en la bibliografía de referencia, el fondo de la batea debe estar a más de 1,00 m del nivel freático. Para los proyectos y obras ejecutadas en la provincia de Santa Fe, de acuerdo a lo indicado por la ley 13055, la distancia mínima entre la base del relleno y el nivel de la capa freática debe ser de 1,50m. La legislación mencionada aclara que de ser imposible el cumplimiento de esta condición, el caso particular debe ser estudiado por la autoridad de aplicación, a fin de definir los requisitos a cumplir.

De acuerdo a la información recopilada y analizada previamente (ver unidad 6 “Relevamiento preliminar”), el nivel freático de la zona se ubica a 1,70 m bajo la superficie del terreno. Consecuentemente solo resulta posible excavar hasta una profundidad de 20 cm, para la constitución de la base del relleno sanitario. Por esta razón, la selección del método de emplazamiento de la obra, se ve acotada a dos opciones:

- Relleno en positivo o método en zona, ubicando la totalidad del volumen de diseño sobre el nivel de terreno natural.
- Relleno combinado o método mixto, ubicando parte del volumen de diseño en una superficie excavada.

Buscando optimizar el diseño, se opta por aprovechar la profundidad de excavación disponible. De esta manera, el fondo del relleno (capa de bentonita), se ubicará a 0,20m bajo la superficie del terreno.

Como puede ser apreciado más adelante en este mismo documento (ver Unidad 9 “Diseño de intervenciones estructurales”) y en el Tomo III (Planos) que lo acompaña, el espesor total del paquete constructivo del fondo del relleno, es mayor a 20 cm. Por esta razón, la disposición de los RSU se inicia a 70 cm sobre el nivel de terreno natural. Teniendo en cuenta esta configuración, es posible afirmar que se trata de un Relleno Sanitario en positivo.

Por otro lado, el factor fundamental en la determinación de la altura del relleno sanitario es la capacidad portante del suelo. Teniendo en consideración lo analizado en la sección 6.8. (“Características Geotécnicas”) es posible determinar la máxima altura admisible para el acopio de RSU.

Para concluir en la determinación mencionada, es necesaria la definición de los paquetes constructivos a utilizar, tanto en la base del relleno como en su cobertura final. Se recurre al empleo de una serie de paquetes basados en las prácticas comunes y las exigencias legales ya expuestas. El detalle constructivo correspondiente, se expone en la posterior sección de diseño final.

MATERIAL	ESPESOR (m)	DENSIDAD (t/m ³)
Suelo natural (sobre nivel de napa freática)	0,50	1,88
Arena limpia	1,00	1,95
Bentonita – $k < 1 \times 10^{-7}$ (cm/s)	0,60	1,72
Membrana de PED	0,00015	1,00
Arena limpia	0,30	1,95
RSU compactado	Varias capas	0,90
Material de cobertura	Varias capas	1,90
Tierra negra	0,45	1,90
Capa vegetal	0,15	1,10

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 7.3 | Paquetes considerados para la estimación de la altura de relleno

De tal manera, la tensión que finalmente es ejercida sobre el suelo de fundación pasa a ser dependiente de la cantidad de capas de RSU compactado y material de cobertura que posea el relleno (celdas diarias de residuos); así como los espesores considerados

para darles materialidad. La presión ejercida por la suma del resto de los materiales, en un área unitaria, es la siguiente.

MATERIAL	ESPESOR (m)	DENSIDAD (t/m ³)	Δ PRESIÓN (t/m ²)
Suelo natural (sobre nivel de napa freática)	0,50	1,78	0,890
Arena limpia	1,00	1,95	1,950
Bentonita – $k < 1 \times 10^{-7}$ (cm/s)	0,60	1,72	1,032
Membrana de PED	0,00015	1,00	0,0015
Arena limpia	0,40	1,95	0,780
Tierra negra	0,45	1,90	0,855
Capa vegetal	0,15	1,10	0,165
		TOTAL	5,6735

*Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.4 | Presión unitaria ejercida por paquetes constructivos

Considerando la resistencia ya pautada en la unidad anterior para la fundación del relleno sanitario, la presión restante que podría ejercer el RSU con su material de cobertura sería:

$$\sigma_{RSU} = \sigma_{adm} - \Delta_{Presión} = 15,000 \left(\frac{t}{m^2} \right) - 5,674 \left(\frac{t}{m^2} \right) = 9,326 \left(\frac{t}{m^2} \right) \quad (7.9)$$

Se procede entonces a un cálculo iterativo, considerando un número lógico de niveles de celdas de residuo (cada una con una altura práctica); una capa intermedia de material de cobertura entre cada par de ellos (también de un espesor práctico) y una capa de material de cobertura extra por cada nivel (considerando una tapada que pueda hacerse cada día al finalizar la jornada sin terminar el nivel completo). El resultado es el siguiente, con un total de cinco niveles de celdas:

instancia, quedando sujeta al dimensionamiento de las obras (ver Unidad 9 “Diseño de intervenciones estructurales”).

Economía de operación

Entre dos alternativas igualmente extensas (en términos de población), puntuadas con las mismas eficacia y eficiencia, será mejor aquella que resulte menos costosa. Es importante resaltar que esta afirmación no establece la viabilidad económica o financiera de cada alternativa, que deben ser verificadas en etapas posteriores, en caso de ser seleccionadas para su desarrollo.

En todo proyecto de ingeniería civil, pueden distinguirse tres costos intrínsecos a la obra edilicia o infraestructura a construir:

- El de construcción propiamente dicho
- El de operación o servicio
- El de mantenimiento

Tanto el primero como el tercero, para el presente proyecto, no resultan relevantes a la hora de decidir entre las alternativas propuestas. Esto se debe a que la diferencia de inversión necesaria, puede considerarse directamente proporcional a las dimensiones del complejo requerido por cada consorcio. Como ya se ha mencionado, las mismas son producto de la población servida, y por lo tanto quedan contempladas en el criterio de decisión de primer orden.

Por otro lado, la operación del complejo ambiental sí es un factor que puede independizarse del tamaño del predio. Como se explica en el marco conceptual, la principal tarea cotidiana al explotar un relleno sanitario es la conformación de celdas de residuos, que implica a su vez la disposición de material de cobertura en capas que las delimiten. Si bien la cantidad de suelo necesario para la explotación completa del relleno se desprende directamente de su tamaño, el costo asociado a conseguir el material necesario para cada jornada laboral, depende en gran medida del origen del mismo (por calidad y transporte).

El suelo destinado a la tarea debe ser inerte a los RSU, y estable para la conformación de taludes. Consecuentemente, se debe evitar la presencia de materia orgánica y arcillas que generen reacciones o produzcan asentamientos importantes. A causa de los niveles de la napa freática, no es posible realizar una excavación suficientemente profunda como para proveerse del material desde el terreno de emplazamiento del relleno. Debido a esto, el suelo debe ser especialmente transportado desde otro sitio.

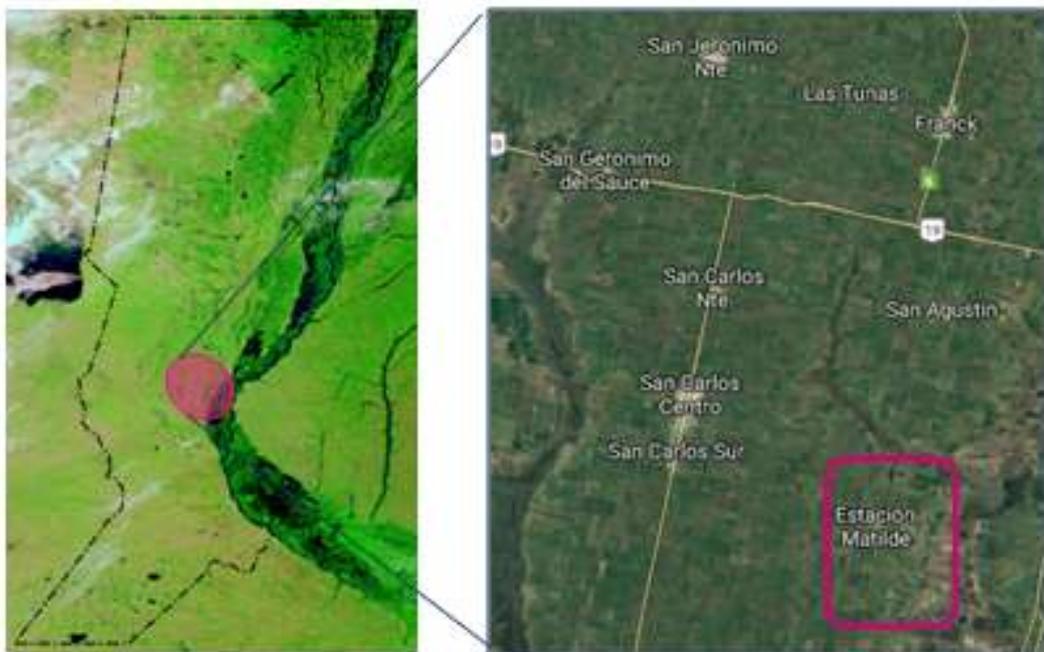
Ante la situación planteada, se busca localizar (en el área de estudio y sus alrededores) una posible fuente del material inerte, que sea competente para la función de material de cobertura. Tras consultar a miembros de la Dirección Provincial de Vialidad, se constata que a la fecha no existen préstamos de suelo en explotación.

En la práctica, una explotación de esta índole debe ser avalada por la *Autoridad Minera Provincial*, representada hoy en día por el *Departamento de Minería* de la *Subdirección General de Suelos y Aguas*, dentro de la *Dirección General de Gestión de la Sustentabilidad en la Producción* del *Ministerio de la Producción* de la provincia de Santa Fe. El aval entregado por la autoridad es la “*Concesión de extracción de áridos*”; que da fe de que se trata de una explotación responsable, con un impacto ambiental admisible, trabajada por un productor minero registrado.

Por ello, tanto si el origen del préstamo surge de la iniciativa privada, como si se obtiene por expropiación, éste debe ser justificado adecuadamente. Un limo de baja plasticidad como el de la zona es competente para la tarea de cobertura, pero también se corresponde con el suelo más productivo de la región.

De acuerdo a lo mencionado, se decide buscar un terreno que cumpla con la doble condición de poseer limos de baja plasticidad y una baja aptitud agropecuaria según INTA. Este supuesto resulta ser suficiente a los efectos del proyecto, y guarda relación con lo que sería una extensión barata de expropiar y/o susceptible de ser ofrecida por un privado.

Finalmente, en el presente proyecto se considera como punto para la explotación del material de cobertura necesario, una parcela situada dentro del distrito de Sauce Viejo (en proximidad a la localidad de Matilde).



*Fuente: Elaboración propia

Figura 7.34 | Préstamo de suelo potencial (a)



**Fuente: Elaboración propia*

Figura 7.35 | Préstamo de suelo potencial (b)

De acuerdo al relevamiento preliminar realizado, y recordando la caracterización geomorfológica efectuada en la unidad anterior, es posible describir las particularidades del suelo correspondiente a esta ubicación geográfica. La localización mencionada, se caracteriza por la presencia de limo loésico sin arcilla. Consecuentemente, este suelo posee poca materia orgánica, garantizándose las propiedades inertes del mismo. Por otro lado, se ha identificado que la aptitud agropecuaria neta de los suelos en la localización mencionada, no resulta ser elevada. Esta verificación ha sido efectuada en base a un mapa provincial de Santa Fe (a escala departamental), donde se agrupan los diversos tipos de suelos en 8 grandes clases de aptitud agropecuaria y forestal.



*Fuente: IDESF

Figura 7.36 | Préstamo de suelo potencial – Aptitud agropecuaria del suelo

En base a todo lo enunciado, es posible afirmar que se trata de un terreno respecto al cual es factible intuir que pueda ser dedicado a la explotación minera (préstamo de suelo).

De acuerdo a todo lo expresado, a continuación se define la cuarta columna de la MDM.

Transporte Dedicado a Operación: Producto entre la distancia del complejo ambiental y el préstamo de suelo disponible, y el volumen total estimado de material de cobertura (al final de período de diseño).

$$T_O = D_{Préstamo} \cdot V_{cobertura} \quad (7.15)$$

	A1	A1'	A2	A2'	A3	A4	A4'	TODOS
Vc (m³)	295564	295564	256066	256066	371263	278869	297878	421410
Dp (Km)	7.4	11.6	20.3	28.0	20.3	44.7	44.7	28.0
To (Km.m³)	2187170	3428536	5198148	7169859	7536638	12465454	13315130	11799491

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 7.25 | Cuarto criterio de decisión - Transporte Dedicado a Operación

Practicidad de intervención

El último criterio de decisión, escogido para seleccionar una alternativa del presente proyecto, responde a la posibilidad de llevar a la práctica todas las intervenciones no estructurales que se propongan. Dichas intervenciones, que constarán de políticas públicas y campañas de concientización de la población, dependen de la sociedad para lograr sus objetivos. Por esta razón, debe evaluarse cada escenario social en el que pueda implementárselas, a los fines de ponderar aquellos donde sea más factible el éxito deseado.

Por un lado, las intervenciones deben contar con la voluntad de los organismos públicos que deban llevarlas a cabo. Tal factor no es susceptible de una valoración numérica por parte de los proyectistas, ya que sería inadecuado puntuar el interés de cada gobierno local en adaptarse a la legislación vigente (que implica la adopción de un sistema GIRSU con disposición final adecuada). Por otro lado, las intervenciones deben contar con la participación ciudadana y el interés popular de aceptar un cambio de conciencia respecto a los RSU. Este segundo aspecto, resulta igualmente inapropiado para ser valorado numéricamente. Pese a esto, es necesario efectuar una evaluación de la situación a abordar en cada alternativa. Esto se debe a que en la práctica, el correcto funcionamiento de un consorcio depende de la respuesta que la sociedad tenga ante las normas que éste supone.

Siguiendo el razonamiento efectuado, se decide puntuar el grado de avance que cada localidad tiene en materia GIRSU, por medio de una escala numérica. Es importante resaltar que se entiende como grado de avance a la existencia de políticas públicas, instancias de gestión e infraestructura específica, para el manejo de los RSU. De esta manera, se busca ponderar la factibilidad de alcanzar el éxito, con las intervenciones no estructurales de cada población. Se opta por la siguiente escala arbitraria, que refleja

situaciones meritorias en cada localidad, siguiendo el mismo orden planteado en el apartado de *Jerarquía GIRSU* (ver unidad 3 “Marco Conceptual”). Se parte desde aspectos vinculados a la recolección y generación de residuos, llegando hasta las instancias de transformación, aprovechamiento y disposición.

A continuación, se expresa la escala adoptada:

1. Inexistencia de servicio de recolección. Inexistencia de control sobre la disposición por parte de los vecinos, responsables cada uno de sus propios RSU.
2. Servicio de recolección activo. Disposición inicial ordenada (lugar físico determinado o cesto elevado), y diferenciando entre RSU y residuos de poda.
3. Servicio de recolección y disposición inicial con funcionamiento óptimo constante. Separación de RSU en origen inexistente o precaria.
4. Separación de RSU en origen con funcionamiento óptimo constante. Inexistencia de IRM. Recuperación de residuos inexistente o informal. Inexistencia de tratamientos para la fracción orgánica de RSU.
5. IRM precaria y/o provisoria. Recuperación de residuos formal y/o funcional de forma constante. Inexistencia de tratamientos para la fracción orgánica de RSU.
6. IRM precaria y/o provisoria. Recuperación de residuos formal y/o funcional de forma constante. Existencia de tratamientos para la fracción orgánica de RSU.
7. Existencia de un plan de aprovechamiento para los productos de los tratamientos orgánicos (compostaje, biogás, etc.) de manera funcional.
8. IRM completa y funcional en todas las tareas nombradas. Disposición final en BCA.
9. Disposición final en relleno controlado. Inexistencia de tratamiento de lixiviados.
10. Disposición final en relleno sanitario.

Cada localidad se puntúa con la situación más desfavorable observable en la escala, y en caso de comprender aspectos correspondientes a puntajes mayores (como por ejemplo Sauce Viejo que si bien no posee separación en origen, realiza una disposición final en relleno sanitario) se le adiciona medio punto.

De esta manera, puede puntuarse a cada localidad de una manera lógica, y establecer el peso que ese puntaje guarda en cada consorcio planteado (según la población que la localidad aporte al mismo).

Entre dos alternativas igualmente abarcativas en población, puntuadas con la misma eficacia y eficiencia, donde se distinga igual economía de operación, será mejor la que

signifique menos energía y tiempo dedicados a la adopción del sistema por parte de la sociedad (alternativa más práctica)

De acuerdo a lo expresado, se define la quinta columna de la MDM.

Practicidad: Sumatoria de los productos, entre el puntaje del grado de avance GIRSU de cada localidad y su población (año 2019), a razón de la población total de las localidades comprendidas en la alternativa propuesta.

$$P_D = \sum \frac{P_{GIRSU} \cdot P_i}{P_N} \quad (7.16)$$

LOCALIDAD	P _{Di}	P _{Di} x P _i
San Agustín	3.0	4662
San Carlos Norte	3.0	3468
San Carlos Centro	4.5	56957
San Carlos Sur	3.0	6717
Matilde	3.0	2898
Sauce Viejo	3.5	36159
San Jerónimo del Sauce	2.0	1818
Las Tunas	4.0	2324
San Jerónimo Norte	8.0	55432
Santa María Norte	1.0	241
Humboldt	3.5	18151

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 7.26 | Quinto criterio de decisión - Practicidad de cada alternativa (a)

ALTERNATIVAS	PD
A1	3.836
A1'	3.836
A2	4.975
A2'	4.975
A3	4.567
A4	4.853
A4'	4.762
TODOS	4.417

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 7.27 | Quinto criterio de decisión - Practicidad de cada alternativa (b)

7.2.1.2. Matriz de Decisión Multicriterio

Resumiendo, las definiciones anteriores y calculando los valores correspondientes, se traza la siguiente MDM que representa las alternativas del proyecto:

ALTERNATIVAS	P _N	D _Z	D _E	T _O	P _D
A1	28903	42.71	16648.34	2187170.1	3.836
A1'	28903	42.68	20357.70	3428536.9	3.836
A2	26991	107.93	20698.17	5198148.3	4.975
A2'	26991	96.70	12133.27	7169859.7	4.975
A3	37322	111.26	24518.62	7536638.3	4.567
A4	29898	102.75	19066.27	12465454.5	4.853
A4'	31452	122.64	19650.96	13315130.5	4.762
TODOS	42749	233.74	23099.63	11799491.4	4.417

*Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.28 | Matriz de Decisión Multicriterio

7.2.1.3. Función Objetivo

Para utilizar la MDM en un sistema de evaluación, es necesario establecer un objetivo para cada criterio de decisión. En base este objetivo, se define cuál es su valor óptimo para que una alternativa sea considerada como buena. Un criterio puede buscar maximización (a mayor valor, mejor alternativa) o minimización (a menor valor, mejor alternativa).

Para el caso particular del presente proyecto, se define la siguiente función objetivo:

P _N	D _Z	D _E	T _O	P _D
MÁXIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN	MINIMIZACIÓN	MÁXIMIZACIÓN

*Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.29 | Función Objetivo

7.2.1.4. Matriz de Peso Propio

Una vez seleccionados los criterios de decisión (columnas) y establecidos los valores que cada uno asume para cada alternativa (filas), queda definida la MDM. Sin embargo, para su uso en un sistema de evaluación es necesario que sea transformada previamente, según la función objetivo de cada criterio. Los valores de cada columna son comparables entre sí, pero tienen naturalezas dispares de acuerdo a los distintos criterios. Para seleccionar la mejor alternativa, los valores mencionados, deben ser considerados en conjunto.

Para subsanar esta situación, cada valor debe ser operado a razón de los demás. Las columnas con un objetivo de maximización, dividirán cada valor por el mayor valor de la columna (unidad en el valor más grande). Por otro lado, las que tengan un objetivo de minimización, tomarán la inversa de cada valor y lo multiplicarán por el menor valor de la columna (unidad en el valor más pequeño). El resultado es una matriz como la siguiente:

$$P_{Pi} = \begin{cases} P_{Ni}/P_{NMAX} \sqrt{D_{Zi}/D_{ZMAX}} \sqrt{D_{Ei}/D_{EMAX}} \dots \\ P_{NMIN}/P_{Ni} \sqrt{D_{ZMIN}/D_{Zi}} \sqrt{D_{EMIN}/D_{Ei}} \dots \end{cases}$$

PESO UNITARIO	P _N	D _Z	D _E	T _O	P _D
A1	0.676109	0.999362	0.728797	1.000000	0.771000
A1'	0.676109	1.000000	0.596004	0.637931	0.771000
A2	0.631383	0.395495	0.586200	0.420759	1.000000
A2'	0.631383	0.441423	1.000000	0.305051	1.000000
A3	0.873050	0.383625	0.494859	0.290205	0.917938
A4	0.699385	0.415397	0.636374	0.175459	0.975596
A4'	0.735737	0.348046	0.617439	0.164262	0.957188
TODOS	1.000000	0.182615	0.525258	0.185361	0.887888

*Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.30 | Matriz de Peso Propio

7.2.1.5. Vector de Ponderación

El sistema de evaluación multicriterio, se materializa por medio del producto matricial entre la matriz de peso propio antes expuesta, y un vector que pondere la importancia de cada criterio en el proyecto. De esta manera, cada alternativa sumará puntaje de forma proporcional a su competencia relativa aspecto considerado, pero evaluando a su vez que tan estratégico es dicho aspecto.

Al introducir cada nuevo criterio de decisión, se hizo hincapié en un proceso de comparación entre dos alternativas hipotéticas (“...entre dos alternativas que sean... será mejor aquella que...”) y el vector de ponderación debe respetar dicho proceso. Partiendo del orden de criterios establecido, se escoge un vector conformado por el porcentaje que representa la inversa de cada criterio, con respecto a la suma de las inversas de todos los órdenes.

$$\text{Siendo: } \vec{O} = \begin{matrix} O_1 & 1 \\ O_2 & 2 \\ O_3 & 3 \\ O_4 & 4 \\ O_5 & 5 \end{matrix} \quad \wedge \quad V_{Pi} = 1/O_i \div \sum_{i=1}^{i=5} 1/O_i$$

$$\text{Entonces: } \vec{V}_P = \begin{matrix} 1/1 \\ 1/2 \\ 1/3 \\ 1/4 \\ 1/5 \end{matrix} \div \sum_{i=1}^{i=5} 1/O_i = \begin{matrix} 1.000 \\ 0.500 \\ 0.33\hat{3} \\ 0.250 \\ 0.200 \end{matrix} \div 2.28\hat{3} \Rightarrow \vec{V}_P = \begin{matrix} 0.437956 \\ 0.218978 \\ 0.145985 \\ 0.109489 \\ 0.087591 \end{matrix}$$

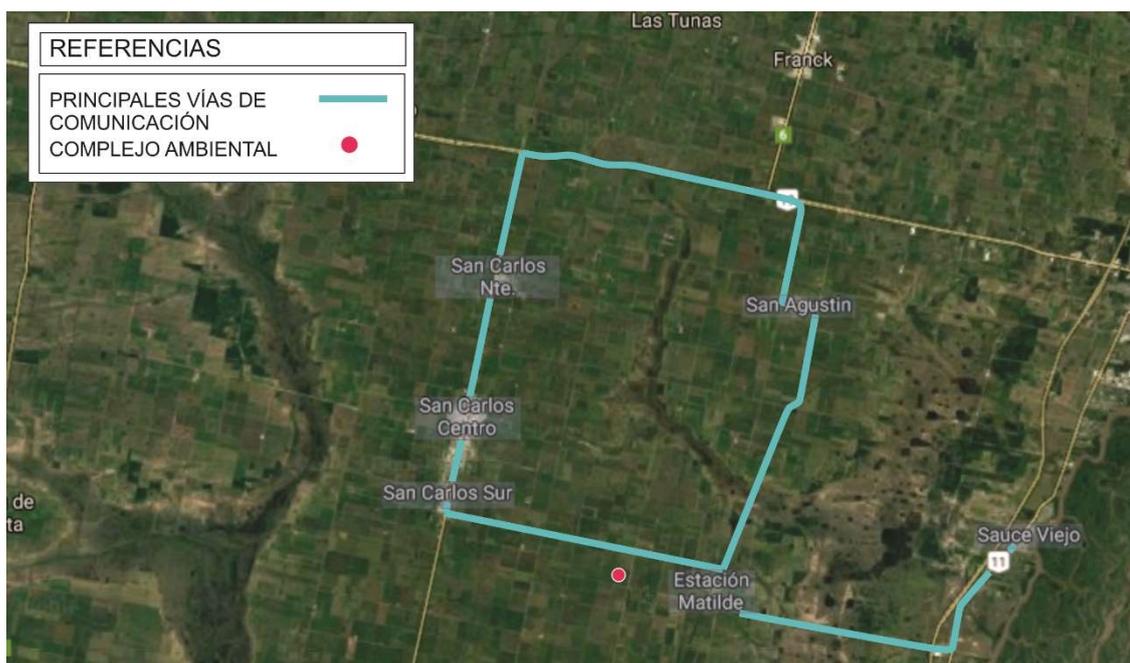
De esta forma se obtiene una ponderación que respeta el proceso de comparación hecho, puesto a que los elementos resultantes en el vector siguen una distribución matemática donde:

- Cada criterio pesa más que los criterios de orden siguiente. El criterio de último orden (última comparación hipotética), no tiene peso para cambiar por sí mismo el resultado de la evaluación.
- Mientras más bajo el orden de un criterio, más criterios de órdenes siguientes deben sumarse para superarlo en peso (manteniendo el mismo peso propio en cada criterio).
- El criterio de primer orden (primera comparación hipotética) siempre requiere de la suma de todos los criterios de orden siguiente (a excepción del último) para ser superado en peso.

También hubiese sido posible efectuar otro tipo de comparación, siguiendo un proceso diferente a la hora de establecer criterios de decisión (como establecer porcentajes arbitrarios, obtenidos de la estadística, el cómputo o la experiencia). Sin embargo, el presente resulta el más adecuado para el caso de estudio.

Resulta importante destacar que en todos los casos, la propuesta A1 se manifestó como la óptima alternativa de conformación de consorcio GIRSU. De esta manera, queda claramente demostrada la consistencia del resultado obtenido.

Por otro lado, la alternativa “Todos” siempre obtuvo un puntaje elevado. Esto se debe a que no se ha sujeto a duda el 1er orden del criterio de *Población*, en el cual mantiene mucho peso. Pese a esto, siempre fue superada, verificando que el sistema arroja un resultado lógico y representativo de lo que se observa en la práctica.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 7.37 | Alternativa seleccionada (A1)

En base a los criterios empleados en este estudio (generales, específicos y de decisión), se presenta una ficha resumen donde se exponen las principales características que definen a la alternativa escogida.

ALTERNATIVA	A1
Localidades conformantes	San Carlos Norte, San Carlos Centro, San Carlos Sur, San Agustín, Matilde y Sauce Viejo.
Población servida durante el período de proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • 29410 en 2020 (inicio de proyecto) • 41180 en 2040 (fin de proyecto)
Superficie (mínima) estimada para el complejo ambiental	5,61 hectáreas (considerando obras complementarias).
Terreno disponible para el emplazamiento	30 hectáreas. Actual producción agrícola.
Riesgo hídrico	Clasificado “muy bajo”, tanto en terreno como en vías de acceso.
Cursos superficiales de agua cercanos al complejo	Arroyo Los Troncos; a 9,61 kilómetros.
Principales vías de comunicación existentes	Ruta Nacional nro. 11, Ruta Nacional nro. 19, Ruta Provincial nro. 6, Ruta Provincial nro. 36-S y Ruta Provincial nro. 50-S.
Distancia media al complejo ambiental	15,07 kilómetros (entre las 6 localidades).
Distancia al centro urbano más cercano	4,40 kilómetros de la localidad de Matilde.
Distancia a la ruta más cercana	1,30 kilómetros de la RP 36-S.
Distancia a la pista de aterrizaje más cercana	21,83 kilómetros del aeropuerto metropolitano de Sauce Viejo.
Distancia al préstamo de suelo previsto	7,40 kilómetros por caminos no inundables.
Puntaje ponderado del estado GIRSU de las localidades involucradas.	3,836 en la escala definida, quinto puesto entre el total de alternativas.

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 7.32 | Ficha resumen de la alternativa escogida

8. SISTEMA GIRSU

A lo largo de esta unidad, se describe el conjunto de políticas de gestión y obras requeridas para el funcionamiento y operación del consorcio GIRSU conformado.

Se analizan tanto las intervenciones no estructurales como las estructurales.

8.1. Intervenciones No Estructurales

Como ya ha sido mencionado, se entiende por intervenciones no estructurales a aquellas que hacen foco en aspectos vinculados al planeamiento y la gestión, y no refieren al diseño y construcción de obras civiles.

Las medidas relacionadas, se aplican sobre los primeros elementos funcionales del sistema GIRSU:

- Generación de RSU
- Manipulación, separación, almacenamiento y procesamiento en origen
- Recolección, transporte y transferencia

8.1.1. Normativa local

En el marco del desarrollo de este proyecto, es importante destacar que todos los municipios y comunas que conforman al consorcio, deben adherir por ordenanza a la Ley Provincial 13055 (“Ley de Basura Cero”). Como ya ha sido analizado detalladamente en la sexta unidad (“Relevamiento preliminar”), de las localidades que integran al consorcio, las que actualmente adhieren a la normativa mencionada son: San Carlos Norte y San Carlos Sud. Por otro lado, San Carlos Centro, San Agustín Matilde y Sauce Viejo, deberán adaptar su normativa local al requerimiento propuesto como medida de intervención no estructural.

Cada gobierno local, deberá introducir en su normativa las medidas regulatorias de separación, disposición inicial y recolección de los RSU, comunes a todos los miembros. Así mismo será responsable por definir y aplicar cargas punitivas, en caso de incumplimiento.

Se posee como objetivo, homogeneizar las condiciones de las comunas y el municipio intervenidos, en materia de legislación.

8.1.2. Canales de información

En la quinta unidad de este documento (“Enfoque de Marco Lógico”), han sido confeccionados un “Árbol de Problemas” y un “Árbol de soluciones”, poniéndose en

evidencia la existencia de una problemática central y derivados, y el conjunto de soluciones y objetivos a alcanzar.

Se ha resaltado la importancia de lograr la responsabilidad y el compromiso ciudadano, para garantizar la contribución de la población en las instancias de generación y procesamiento inicial de los RSU. Para ello resulta fundamental la concientización y educación de la población servida.

De acuerdo a la información obtenida mediante el Relevamiento Preliminar, se ha identificado la existencia de instituciones educativas en todas las localidades afectadas por la alternativa seleccionada. Mayoritariamente se trata de jardines de infantes, escuelas primarias y escuelas secundarias. En el caso particular de San Carlos Centro, también se destaca la existencia de propuestas académicas a nivel terciario y universitario.

Como se pone de manifiesto en la ley nacional 25675 “La educación ambiental constituye el instrumento básico para generar en los ciudadanos, valores, comportamientos y actitudes que sean acordes con un ambiente equilibrado, propendan a la preservación de los recursos naturales y su utilización sostenible, y mejoren la calidad de vida de la población” ^[9] (*Ley nacional 25675 – artículo 14, 2002*).

En este sentido, se propone la incorporación de la temática ambiental en los programas escolares de los jardines, escuelas primarias y secundarias, con el objetivo de educar a los alumnos en el uso racional de recursos (consumo responsable), la disminución del empleo de productos descartables, la importancia del reciclaje y la separación de los residuos. En todas las instituciones educativas (incluidas las de nivel terciario y universitario) deberá respetarse el sistema de diferenciación de RSU adoptado para el consorcio, y explicarse el mismo (desechos correspondientes a cada fracción) por medio de la colocación de afiches o carteles.

De acuerdo a lo establecido en la ley provincial 13055 (ley de basura cero), el Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente, debe elaborar y sostener un programa especial de educación y concientización de la población. El mismo debe ser incluido en el desarrollo circular anual de las escuelas estatales y privadas en todos sus niveles, implementándose la capacitación a docentes, participación de especialistas en ecología y participación de los alumnos en la difusión y concientización familiar y social.

En materia de residuos, la formación de las personas desde edad temprana facilita el desarrollo de buenas prácticas ambientales. Las autoridades entrevistadas de algunas de las comunas, han manifestado su conocimiento e interés sobre este aspecto.

Por otro lado, la difusión de la información resulta ser un aspecto fundamental para lograr la contribución de la población. Se propone efectuar campañas a través de medios de comunicación locales como por ejemplo:

- FM 101,3 (San Carlos Centro)
- FM 97,1 “Claro de Luna” (San Agustín)
- FM 100, (Matilde)
- FM 95,1 “Peña” (Sauce Viejo)

También por medios de comunicación regionales como:

- Diario “El Cronista de las Colonias”
- Diario “El Litoral”
- Radio It9
- Radio It10
- Canal 13

Inicialmente, se debe difundir información sobre la conformación del consorcio GIRSU, localidades que lo integran, obras que se proyectan y construyen. Resulta importante comunicar adecuadamente a la comunidad sobre el proyecto que se lleva adelante, y no solo sobre las políticas de gestión.

También es necesario comunicar a los habitantes de cada una de las localidades sobre el sistema adoptado para la separación de residuos (fracciones en que se clasifican los desechos), modalidad para la disposición inicial (uso de contenedores) y días y horarios del servicio de recolección. Los gastos asociados en este caso, corren por cuenta de cada administración local.

Actualmente, todas las comunas y/o municipios afectados (a excepción de San Carlos Norte) cuentan con una página web. Este constituye un canal de información oficial, por medio del cual se debe proveer a la población toda la información descripta anteriormente, y la posibilidad de contactarse con la administración gubernamental ante cualquier consulta.

Hoy en día las redes sociales son ampliamente utilizadas por la población en general para informarse, desplazando en cierta medida a los medios tradicionales (periódicos, radio, televisión). Frente a este contexto, y teniendo en consideración que todas las comunas abarcadas disponen de cuentas y acceso a las mismas, se propone también efectuar la difusión de información por estos canales de comunicación.

Finalmente, resulta importante resaltar que la difusión de información, deberá conformar una política que se perdurará en el tiempo. Las medidas mencionadas en este apartado, no solo deberán llevarse a cabo en la etapa inicial, si no también durante el funcionamiento del consorcio, y de forma permanente. De esta manera, se ven acrecentadas las posibilidades de éxito del proyecto diseñado. A su vez, ha de mencionarse que los costos asociados, deben ser previstos dentro del presupuesto de cada municipio y comuna, de forma independiente.

8.1.3. Generación de RSU

Con respecto a este elemento funcional del sistema GIRSU, se pretende promover la reducción progresiva del volumen de desechos generados por la población. En este sentido, los canales de información y concientización mencionados, desempeñan un rol crucial.

Resulta muy importante desalentar el uso de productos desechables, y fomentar siempre que sea posible el empleo de envases retornables y la compra de productos al por mayor.

Como política de aplicación generalizada (en las localidades que integran al consorcio), se propone la prohibición (de forma permanente, y por medio de ordenanza local) por parte de cada gobierno comunal y municipal, de la entrega de bolsas plásticas desechable en comercios y supermercados. Se podrá optar por el empleo de bolsas de material biodegradable, o bolsas reutilizables de material textil.

Durante la etapa inicial del funcionamiento del sistema GIRSU regional, se propone efectuar la entrega de bolsas textiles a la población. Las mismas deberán comunicar aspectos importantes sobre la gestión de los residuos, como por ejemplo la composición de cada una de las fracciones en que los pobladores deben separar sus desechos domésticos. Esta medida permite la difusión de información, y promueve la contribución ciudadana. Las bolsas pueden ser entregadas, por ejemplo, durante la realización de talleres abiertos de formación y educación.

8.1.4. Manipulación, separación, procesamiento en origen y disposición inicial

Separación

Como se ha puesto en evidencia en la sexta unidad (“Relevamiento Preliminar”), las localidades que componen a la alternativa seleccionada, poseen distinto grado de

desarrollo en materia GIRSU. Actualmente algunas cuentan con una política de separación de residuos, optando por la distinción de dos fracciones (inorgánico y orgánicos, o secos y húmedos). Por otro lado, algunas comunas como San Carlos Norte, carecen de este tipo de gestiones.

Partiendo de la base de la composición de los RSU en Argentina (Figura 3.1), teniendo en consideración los fundamentos teóricos expuestos en la tercera unidad (“Marco Conceptual”) y la realidad actual, se define una modalidad de separación de RSU. Se trata de una medida de intervención no estructural, que debe ser adoptada como política por todas las comunas y el municipio que integran al consorcio GIRSU. De esta manera, se garantiza la uniformidad en la composición de los desechos que llegan al complejo ambiental.

Se establecen tres grupos:

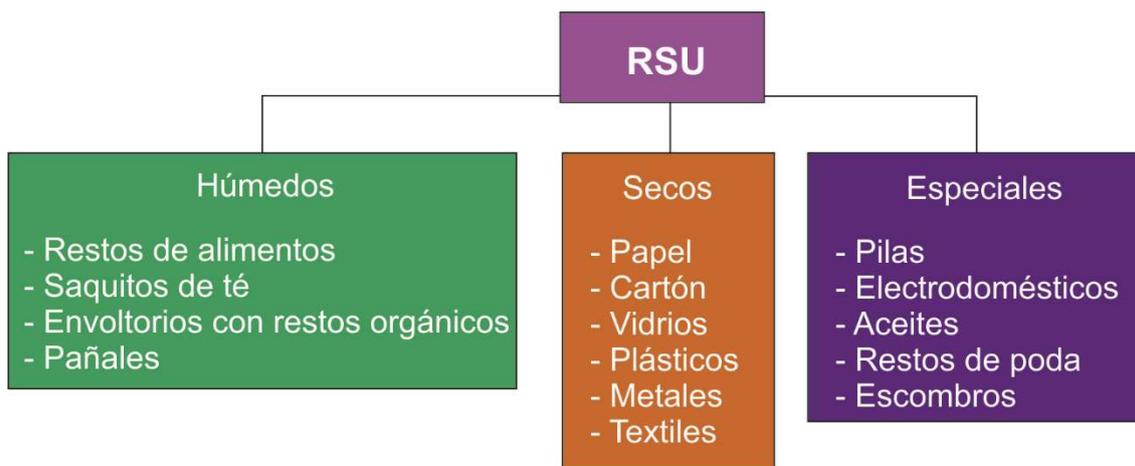
- Residuos húmedos: Todos aquellos susceptibles de descomposición orgánica. Se incluyen, por ejemplo, los restos de alimentos, saquitos de té, envoltorios y recipientes sucios o con restos orgánicos.

En este grupo, a los fines del proyecto planteado (y de acuerdo a las prácticas comunes), se incluyen también a los residuos húmedos no compostables, como se pañales y desechos sanitarios.

- Residuos secos: Papel, cartón, vidrios, plásticos, metales, materiales textiles, cables. Todos estos materiales deben encontrarse limpios y secos (al momento de ser desechados), para poder ser incluidos dentro de esta categoría. Se trata de materiales que pueden ser recuperados, en una instancia posterior del sistema GIRSU.

- Residuos especiales: Pilas, electrodomésticos y otros aparatos electrónicos, aceites, restos de poda, escombros y neumáticos.

Las características particulares de este tipo de residuos, los distinguen de los dos grupos anteriores. Los mismos han de ser sometidos a un régimen particular de recolección, cuyo detalle excede el alcance del presente proyecto.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 8.1 | Separación de RSU

Procesamiento en origen

En relación a este elemento funcional del sistema GIRSU proyectado, se propone fomentar la realización de compostaje doméstico. Debido a la predominancia de una impronta rural en la zona, son muchos los casos en que los habitantes disponen de espacio físico en sus patios, para llevar adelante esta práctica. La misma les permitiría obtener tierra fértil para uso en jardines, y reducir los costos asociados a la recolección y la disposición final de RSU.

Como ya ha sido resaltado en otras unidades, esta técnica permite reducir el volumen de los desechos orgánicos que llegan al complejo ambiental, sin embargo, el porcentaje es despreciable como para ser considerado en el diseño del predio. Por otro lado, la medida que se propone tiene como objetivo informar y educar a la población en la temática. No se trata de una técnica que deba ser practicada con carácter obligatorio por todos los vecinos. En este sentido, resulta muy difícil poder proyectar con precisión qué porcentaje de la población adherirá a la propuesta.

En términos concretos, la medida de intervención consiste en la realización de talleres sobre compostaje doméstico. Los mismos deberán ser abiertos a toda la comunidad, coordinados por cada comuna o municipio en particular, y ser llevados adelante en instituciones educativas (escuelas) o sociales (clubes deportivos, centros culturales, etc.). En ellos se pretende informar a los ciudadanos acerca de qué materia orgánica es susceptible de ser compostada y cual no, y sobre los pasos a seguir.

Es importante resaltar que, en la localidad de San Carlos, este tipo de talleres ha sido realizado exitosamente en oportunidades anteriores, sentando un precedente.



**Fuente: Espacio informativo "Saber más Santa Fe", 30/03/2019*

Figura 8.2 | Encuentro sobre compostaje y reciclado – San Carlos Centro

Disposición inicial

En ninguna de las localidades que integran al consorcio, existe una política referida a la disposición inicial de los residuos urbanos. En algunas de ellas como en San Carlos Norte y San Carlos Centro, puede distinguirse la presencia de cestos de residuos elevados del suelo, en la vía pública. Sin embargo, se trata de casos aislados, de domicilios particulares y comercios.

En el presente proyecto, se plantea la utilización de contenedores plásticos en la vía pública, para el almacenamiento inicial de los RSU. Se opta por el empleo de unidades diferenciadas, para el depósito de residuos secos y residuos húmedos. Una vez depositados en los mismos, los desechos urbanos han de ser captados por el servicio de recolección, para su traslado hasta el complejo ambiental.

La adopción de esta modalidad, presenta diversas ventajas:

- Reduce la presencia de roedores, moscas, mosquitos y otros insectos y vectores
- Evita que los residuos sean alcanzados y esparcidos por animales, sobre las calles y veredas
- Permite concentrar la presencia de bolsas de basura, en puntos específicos
- Mejora las condiciones estéticas de la vía pública
- Facilita el control sobre los RSU generados (volúmenes y composición)
- Proporciona mayor garantía de contribución de la población. En el caso de imponerse la colocación de cestos particulares para cada domicilio, podría suceder que muchos vecinos no acaten a la directiva

- Disminuye el número de puntos de detención requeridos por los camiones recolectores
- Facilita las tareas de recolección

Un aspecto muy importante a tener en cuenta, es la ubicación de los contenedores. En primer lugar, se debe mencionar que la lejanía de los mismos con respecto a los usuarios, dificulta el éxito de la medida. Si las unidades se encuentran a una distancia demasiado grande respecto de los domicilios, se corre el riesgo de que los vecinos los depositen incorrectamente sobre la acera. En este sentido, la comodidad del usuario desempeña un papel fundamental para garantizar la contribución de la población.

Para aquellos casos en que se seleccionan distintos puntos de localización para los depósitos de residuos recuperables (en este caso secos) y húmedos (de acuerdo a las indicaciones ya enunciadas), los ejemplos prácticos reales han demostrado que cuanto mayor es la cercanía de los contenedores respecto a la población, mayor es la predisposición a la separación de residuos. Existen también estudios que avalan estas conclusiones y que han sido consultados. A modo de ejemplo se mencionan: “La distancia del domicilio al contenedor como un factor influyente en la frecuencia de separación de residuos urbanos” (Luz D. Rojas Castillo - Antonio G. Izquierdo – Alberto Piñero Guilamany, 2011) y “Localización óptima de contenedores de residuos sólidos urbanos en Alcalá de Henares” (publicado por la revista electrónica de medioambiente de la Universidad Complutense Madrid).

Teniendo en cuenta que el empleo de este tipo de depósitos es novedoso en el área de estudio, y con el objetivo de garantizar una fácil comprensión y adaptación de la población a la medida de intervención, se decide optar por la colocación conjunta de dos contenedores (uno para residuos húmedos y otro para residuos secos), en cada punto de recolección. Este tipo de modalidad es exitosa entente utilizada hoy en día, por ejemplo, en algunos barrios de la ciudad de Córdoba Capital.



*Fuente: Diario "En Redacción", 22/01/2019

Figura 8.3 | Contenedores de RSU – Barrio "La Paz" (Córdoba Capital)

Se opta por el empleo de contenedores de PEAD (Polietileno de alta densidad), con una capacidad de 1000 lt (1 m³). Este tipo de unidades dispone de tapa rebatible con cierre semi-hermético, y cuatro ruedas para facilitar su desplazamiento y manipulación.

Con respecto a la distancia máxima que debe existir entre un contenedor de RSU y el usuario, existen distintas recomendaciones en la bibliografía consultada. En términos generales, se define:

- Para la fracción orgánica: 50 – 100 m
- Para fracción recuperable: 100 – 400 m

En el caso particular de este proyecto, los contenedores han de ser posicionados en esquina (cerca de la intersección de dos calles), aproximadamente cada 200 m. De esta forma, la mayor distancia que deberá recorrer un vecino, será de 100 m.

Se deberán ubicar sobre la calzada (en la zona de la ochava), junto a la vereda. De esta manera, las unidades estarán situadas en una zona donde no constituirán un obstáculo para el estacionamiento de vehículos, y serán fácilmente accesibles para el personal de recolección.

Es importante resaltar que los vecinos deberán colocar sus RSU en bolsas, previamente a su disposición en los contenedores.

8.1.5. Recolección, transporte y transferencia

Recolección

Como se ha manifestado en la unidad de “Relevamiento preliminar”, actualmente las comunas y el municipio que integran al consorcio, disponen de vehículos para la recolección de RSU que permiten llevar adelante esta tarea de manera efectiva. Salvo en el caso puntual de Sauce Viejo, los mismos son prestados por la administración pública local.

Debido a que la recolección en si no representa una problemática no resuelta, y para minimizar los gastos y la inversión requerida, se decide mantener los servicios existentes con algunas modificaciones.

Para proyectar adecuadamente mejoras en este elemento funcional, es necesario tener en cuenta las intervenciones propuestas para la separación y disposición inicial. En función de las mismas, se adopta una modalidad de recolección selectiva. Cada comuna (o municipio en el caso de San Carlos Centro), debe reorganizar su servicio de recolección, determinando los días y horarios de recogida de residuos secos por un lado y residuos húmedos por el otro (de acuerdo a sus necesidades). Dicha organización operativa, excede el alcance de este proyecto, y no corresponde a la administración del consorcio.

Por otro lado, se opta por el empleo de un sistema de caja fija (SCF), en el cual los residuos son tomados de los contenedores y cargados en el camión recolector.

La localidad de Sauce Viejo dispone de un servicio prestado con camión compactador, mientras que en las restantes se utilizan camiones volcadores. En ninguno caso los vehículos cuentan dispositivos de carga mecánica de contenedores. Consecuentemente, se opta por la carga manual de los RSU.

Es importante destacar que (a futuro) las localidades podrán optar por la compra de vehículos recolectores, con sistemas de carga mecánica de contenedores. Esto permitirá optimizar aún más el servicio prestado. La medida es mencionada como una opción de mejora (no como una intervención inicial del proyecto), debido a que implica una inversión considerable.



*Fuente: Web oficial del Gobierno de San Carlos Centro

Figura 8.4 | Camión recolector (San Carlos Centro)



*Fuente: Web oficial del Gobierno de San Carlos Centro

Figura 8.5 | Camión recolector (San Carlos Centro)

Transporte y transferencia

Como ya se ha manifestado en la unidad anterior, para la alternativa seleccionada de conformación de un consorcio GIRSU la máxima distancia de traslado de residuos es de 21,10 km, para el caso de la localidad de Sauce Viejo. Si se considera la totalidad de la extensión del ejido urbano de la comuna, el máximo recorrido que deberían realizar los camiones recolectores es de aproximadamente 30 kilómetros, desde el punto más alejado del pueblo hasta el complejo ambiental. Es importante resaltar que esta última magnitud contempla la suma de la distancia de recogida y posterior transporte.

El valor mencionado, se encuentra por debajo de los 40 km que han sido considerados como un límite superior establecido de acuerdo a recomendaciones y antecedentes nacionales (ver sección 3.5.3). Consecuentemente, y con la finalidad de evitar mayores demandas de infraestructura y costos asociados que resulten innecesarios, se ha optado por no proponer nuevas instancias de transferencia y transporte.

De acuerdo a lo enunciado en el párrafo anterior, para el presente proyecto el transporte refiere a la etapa de traslado de los desechos en los vehículos de recolección, desde el punto de recogida hasta el complejo ambiental. En este predio se desarrollan las tareas de procesamiento, tratamiento y/o disposición final.

Como se ha mencionado, la localidad de San Carlos Centro dispone de una planta de separación y recuperación de materiales en pleno funcionamiento. Debido a la disponibilidad de infraestructura y equipamientos que le permiten a esta comunidad procesar adecuadamente sus residuos, a la existencia de una logística efectiva del sistema de recolección, y con la finalidad de reducir el número de viajes (y consecuentemente los costos) requeridos para el traslado de los RSU de San Carlos Centro al complejo, se ha definido una consideración particular. Las instalaciones mencionadas seguirán en operación, desempeñando simultáneamente la función de IRM y de estación de transferencia. De esta manera, el servicio de recolección trasladará los residuos urbanos hasta la planta existente, donde serán procesados de la misma manera que hasta la actualidad. Posteriormente los mismos camiones volcadores, trasladarán solo la fracción de desechos no recuperables al complejo ambiental, para su posterior tratamiento y/o disposición final.



*Fuente: Web oficial del Gobierno de San Carlos Centro

Figura 8.6 | Fardos de RSU compactado – Planta de recuperación (San Carlos Centro)

8.2. Intervenciones Estructurales

Las intervenciones estructurales son aquellas referidas al diseño y construcción de obras civiles.

Las medidas relativas a este tipo de intervenciones, se aplican sobre los últimos elementos funcionales del sistema GIRSU:

- Separación, procesamiento y transformación
- Disposición final

Para la alternativa de conformación de consorcio GIRSU seleccionada en la unidad anterior (Alternativa A1), se propone la construcción de un complejo ambiental, destinado a albergar los siguientes componentes:

- Instalación de recuperación de materiales (IRM)
- Pilas o hileras para compostaje
- Relleno Sanitario
- Tratamiento de lixiviados
- Componentes u obras complementarias

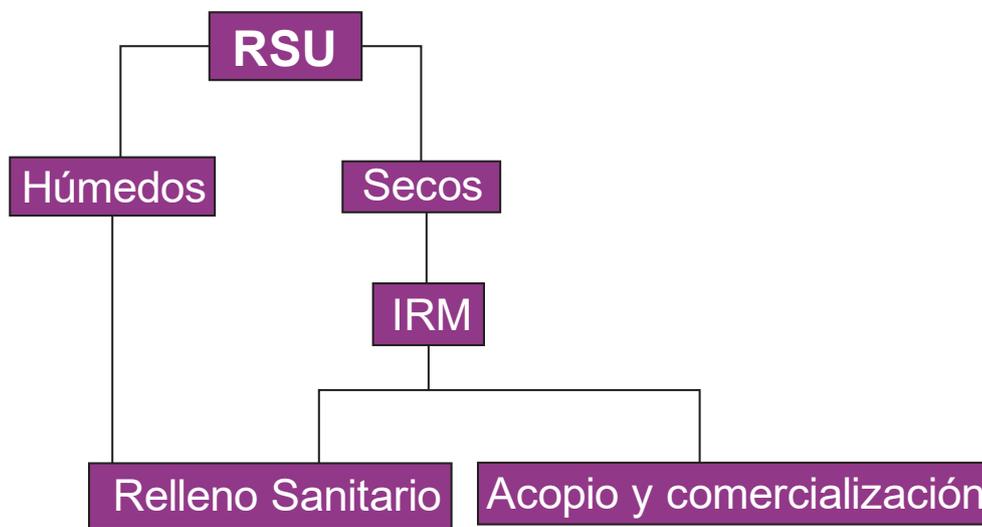
En función de los antecedentes observados en este tipo de proyectos, se ha decidido abordar a las intervenciones estructurales en dos etapas:

- *Etapa 1:* Corresponde a los primeros 10 años del período de diseño y operación adoptados.

Incluye la construcción y puesta en funcionamiento de la planta de recuperación de materiales, el relleno sanitario (primer módulo) y el sistema de tratamiento de lixiviados, así como también de las obras complementarias correspondientes.

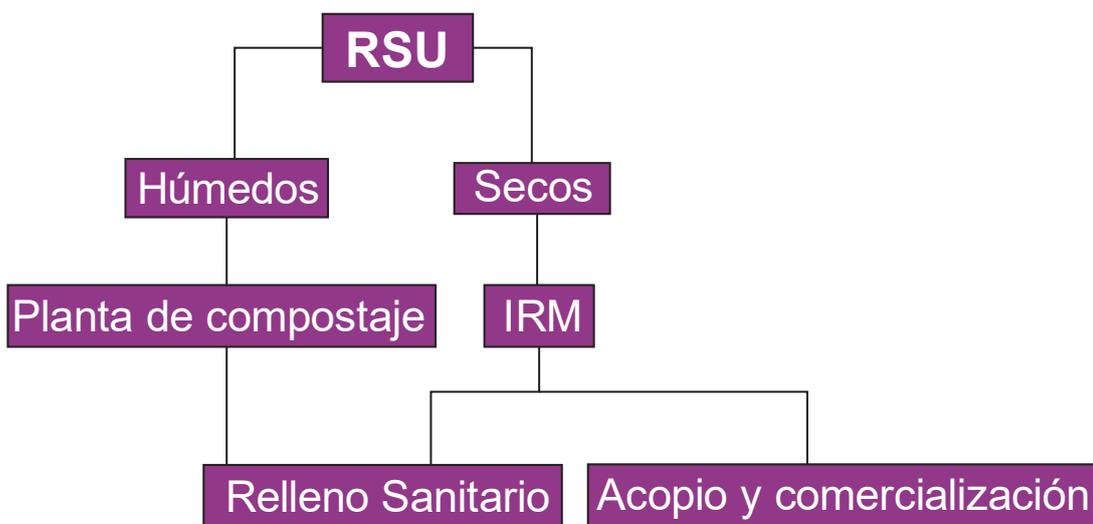
- *Etapa 2:* Esta segunda fase se corresponde con los últimos 10 años de la vida útil, adoptada para el complejo.

En esta instancia, se prevé la construcción de un segundo módulo de rellenos sanitario, y la incorporación de un proceso de tratamiento de la fracción orgánica de RSU (por medio de compostaje).



*Fuente: Elaboración propia

Figura 8.7 | Diagrama de flujo – Etapa 1



*Fuente: Elaboración propia

Figura 8.8 | Diagrama de flujo – Etapa 2

En materia de intervenciones estructurales, el alcance del presente proyecto se encuentra acotado a la primera etapa.

A lo largo de la siguiente unidad, se efectúa el diseño y dimensionamiento de los principales componentes del complejo ambiental:

- IRM
- Relleno Sanitario
- Sistema de tratamiento de lixiviados

9. DISEÑO DE INTERVENCIONES ESTRUCTURALES

Como ya ha sido anticipado, en esta unidad se detalla el dimensionamiento y diseño de las principales obras civiles, que componen al complejo ambiental:

- IRM
- Relleno Sanitario
- Sistema de tratamiento de lixiviados

9.1. Instalación de recuperación de materiales

En primera instancia, para el diseño de esta planta, resulta necesario identificar los distintos materiales a recuperar. Con la finalidad de efectuar los cálculos pertinentes, y en función de indicado en la unidad de “Marco Conceptual”, se adopta la siguiente composición típica de la fracción inorgánica de RSU:

Material	Porcentaje (%)
Papel	20,00
Cartón	20,00
Tetrabrik	3,00
Plásticos	36,00
Vidrio	15,00
Metales	4,00
Textiles	2,00
TOTAL	100,00

**Fuente: Elaboración propia*

Tabla 9.1 | Composición de la fracción inorgánica de RSU

Los porcentajes de cada material que efectivamente son recuperados en este tipo de plantas, varían en función del nivel de compromiso y colaboración de los vecinos, en cuanto a la política adoptada de separación en origen.

El catedrático George Tchobanoglous, refiere a tres niveles de eficiencia en la recuperación de materiales en IRM.

9.1.3. Recuperación de materiales

Realizando el producto entre la cantidad anual procesada de cada material, y los porcentajes definidos en la Tabla 9.2, se obtienen las cantidades recuperadas de cada uno de ellos.

$$\text{Cantidad anual recuperada} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) = \text{Cantidad anual a procesar} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right) \times \text{Porcentaje de recuperación} \quad (9.5)$$

La eficiencia en la recuperación de materiales, puede ser estimada mediante la siguiente expresión:

$$\text{Eficiencia en recuperación} = \frac{\sum \text{Cantidad anual recuperada} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)}{\sum \text{Cantidad anual a procesar} \left(\frac{\text{Ton}}{\text{año}} \right)} \times 100 (\%) \quad (9.6)$$

A continuación, se presentan los resultados obtenidos, tanto en términos diarios como anuales.

Como puede apreciarse en la tabla anterior, la zona de acopio deberá ser capaz de almacenar un volumen total de 119 m³ de materiales recuperados.

Acopio de fardos	
Largo (m)	0,75
Ancho (m)	0,75
Altura (m)	0,50
Nº de fardos apilados	3,00
Nº de fardos producidos	412,00
Superficie requerida (m ²)	77,25

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.20 | Superficie requerida para el acopio de fardos (10 días de operación de IRM)

Acopio de barriles	
Volumen (m ³)	0,23
Altura (m)	0,9
Nº de barriles producidos por semana	17
Superficie requerida (m ²)	4,34

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.21 | Superficie requerida para el acopio de barriles (10 días de operación de IRM)

Finalmente, es posible afirmar que la zona de acopio debe tener una superficie de al menos 81,59 m². Contemplando un pequeño margen de seguridad, se opta por destinar un sector de 84,50 m² de la planta, para almacenar los fardos y barriles, a la espera de ser despachados.

Superficie de acopio adoptada	
Largo (m)	13,00
Ancho (m)	6,50
Superficie adoptada (m ²)	84,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.22 | Superficie de acopio adoptada

9.1.7. Arquitectura y estructura

Conociéndose el espacio requerido para el procesamiento de RSU y el acopio de materiales recuperados, se procede a efectuar el diseño de la instalación de recuperación de materiales.

En esta sección, se describen las características arquitectónicas y estructurales básicas de la IRM. En la planimetría adjunta en el Tomo III (“Planos”), puede apreciarse con mayor grado de detalle el diseño de la planta.

En términos generales, se ha proyectado una nave industrial, con una superficie cubierta total de 450 m², y 33,8 m² de superficie semicubierta (en zona de descarga). La planta posee una forma rectangular, con un ancho de 18 m y un largo total de 25 m.

Los cerramientos laterales, se materializan mediante el empleo de mampostería de ladrillos de hormigón celular. Por otro lado, el cerramiento de cubierta se constituye mediante el empleo de chapa trapezoidal T-90. La misma descarga sobre correas consistentes en perfiles metálicos plegados en frío del tipo C.

Con respecto a las aberturas, se proyectan dos portones de 4 m de ancho, tanto en el frente como en el contrafrente.

Se prevé una estructura metálica independiente, con pórticos transversales con una separación de 5 m. Se emplearán en esta obra, cimentaciones constituidas por zapatas aisladas.

La nave industrial alberga distintos componentes:

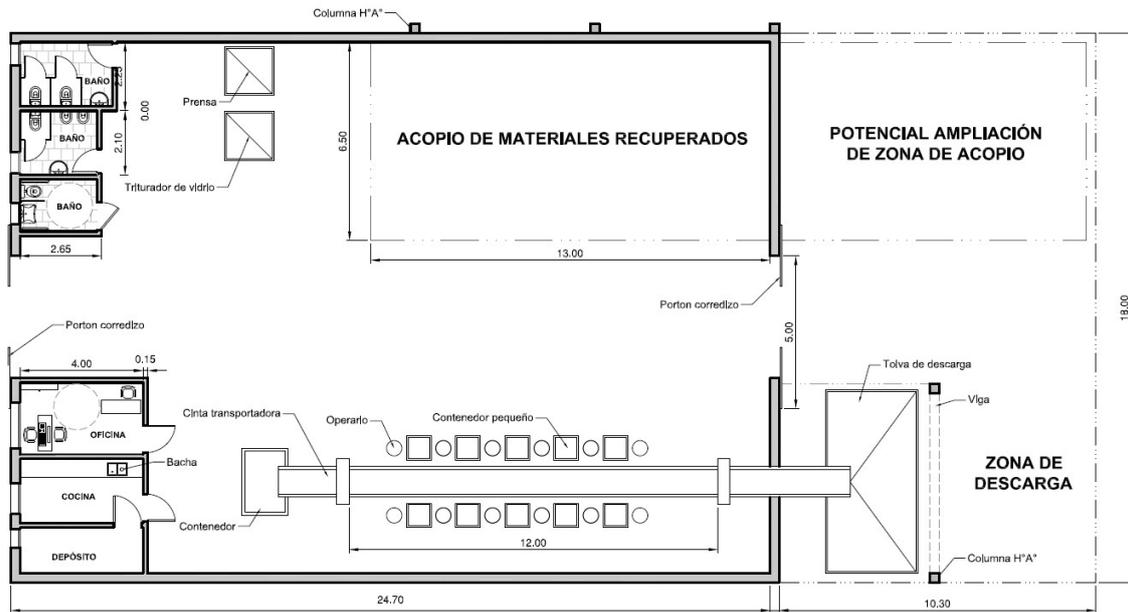
- Cinta transportadora
- Área de procesamiento (enfardado y trituración de vidrio)
- Zona de acopio de materiales recuperados
- Baños
- Oficina
- Cocina para personal y depósito

Todos los locales, han sido diseñados tomando como referencia los requerimientos y especificaciones del “Reglamento de edificaciones privadas” de la ciudad de Santa Fe (ordenanza N° 7279).

El diseño arquitectónico de los espacios, ha sido efectuado bajo el concepto de “accesibilidad”. Tanto la oficina administrativa, como la cocina para personal y el sector de procesamiento y acopio, presentan dimensiones adecuadas para la circulación y maniobra confortable, para personas en silla de ruedas. Por esta misma razón, se ha

proyectado un total de tres unidades sanitarias, una de las cuales ha sido dotada de las dimensiones y accesorios necesarios para su accesibilidad. De esta manera, tanto trabajadores como eventuales visitantes del complejo que requieran de una silla de ruedas para su desplazamiento, podrán circular y desempeñar sus actividades con total libertad.

Finalmente, se prevé que la zona de descarga se localice fuera de la superficie cubierta. A su vez, se ha contemplado una zona para construir una potencial ampliación de la planta, obteniéndose más superficie para el almacenamiento de materiales recuperados.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 9.4 | Esquema general de IRM

9.2. Relleno Sanitario

9.2.1. Diseño de módulo de RSU

Continuando con lo establecido anteriormente, se procede al diseño de un módulo de residuos en la batea del relleno sanitario, destinado a la disposición final del RSU generado durante la primera etapa de proyecto (10 años).

Su geometría básica, se planea como una doble pirámide trunca de base rectangular

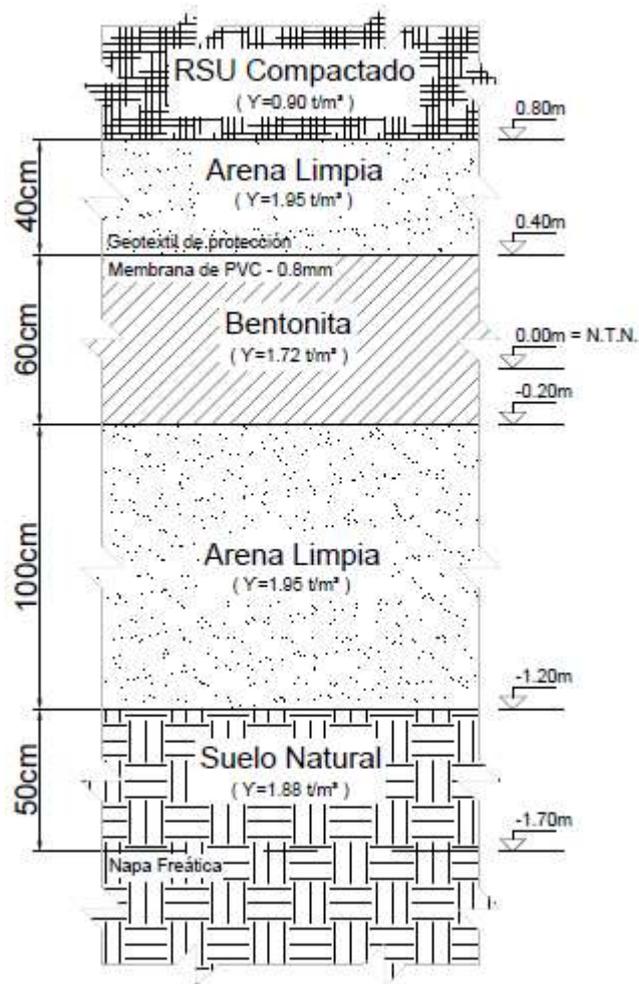
9.2.1.1. Profundidad y altura de diseño

Si bien en la sección 7.1.2. “Predimensionamiento del complejo ambiental”, se ha realizado una primera aproximación al volumen del relleno sanitario, las dimensiones

calculadas son ajustadas en esta sección. Las limitantes de diseño analizadas (nivel freático y capacidad portante del suelo) no varían, por lo que los apartados destinados a la definición de la máxima profundidad y máxima altura del relleno sanitario, continúan vigentes.

A partir del paquete constructivo adoptado, se determinan las siguientes dimensiones:

- *Base de Batea:* Nivel +0,80 metros
- *Coronamiento de Batea:* Nivel +9,55 metros



*Fuente: Elaboración propia

Figura 9.5 | Paquete constructivo de la base de relleno

9.2.1.2. Terraplenes de batea

La batea encargada de contener los módulos de RSU, debe materializarse entre terraplenes de contención, que brinden estabilidad al conjunto y protección de posibles anegamientos. Su diseño se concreta con el establecimiento de su altura y sus taludes.

La construcción del relleno sanitario será en positivo (por sobre el nivel del terreno natural), sin existencia de riesgos hídricos en la zona de emplazamiento. Se opta entonces por una altura y ancho de coronamiento conservadores, siguiendo la bibliografía de referencia, para la estabilidad de las celdas diarias de RSU. Estas medidas, permiten la circulación de semi-pesada, en los caminos de circulación sobre los terraplenes.

- *Altura de Terraplenes: Nivel +4,50 metros*
- *Coronamiento de Terraplenes: 6,00 metros*
- *Talud de Terraplenes: Pendiente 1:1*

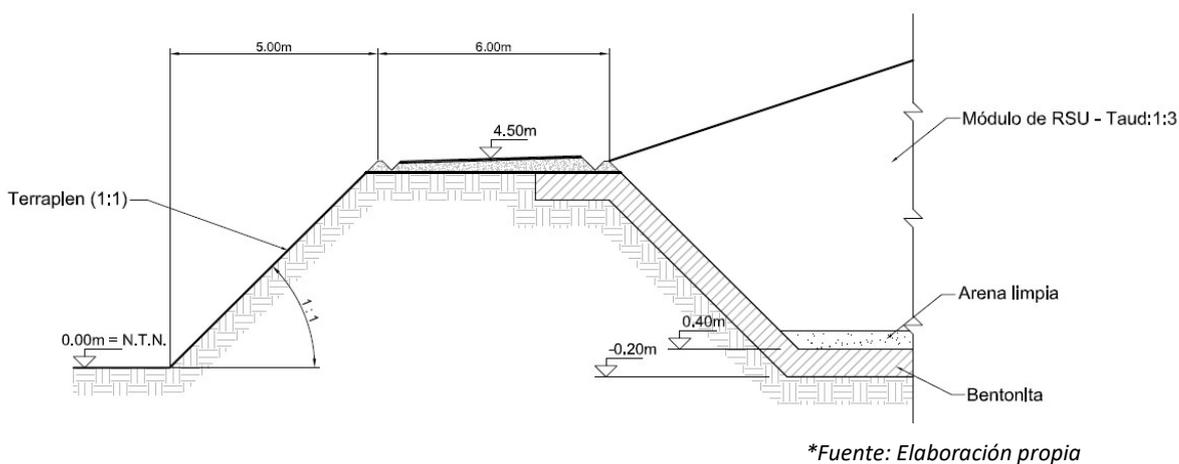


Figura 9.6 | Perfil de terraplenes de contención de batea

9.2.1.3. Ubicación y ancho de diseño

Cada terraplén lateral ocupa 11,00 m del ancho del terreno en su cota de coronamiento, ya que de un lado del mismo existirá un talud, y del otro comenzará la batea. Tal extensión quedaría comprendida dentro de la separación perimetral mínima de 15 m que los RSU debe guardar con la vía pública y terrenos lindantes (art. 39, ley 13055).

Si se considera al módulo de RSU limitado por la angostura del predio, pueden definirse sus dimensiones en sentido del ancho por sustracción de la separación perimetral, para calcular luego el largo necesario para cubrir el volumen buscado. Las dimensiones resultantes son:

- Ancho en base de batea: 107,60 m
- Ancho en coronamiento de terraplén: 115,00 m

9.2.1.4. Talud y coronamiento de módulo

La bibliografía de referencia recomienda una pendiente de 3 metros horizontales, por cada metro a ganar en altura. Conociendo el nivel de coronamiento del módulo y el ancho desde el coronamiento de los terraplenes laterales, es posible definir también el ancho de coronamiento. De esta manera, quedan definidas las siguientes características:

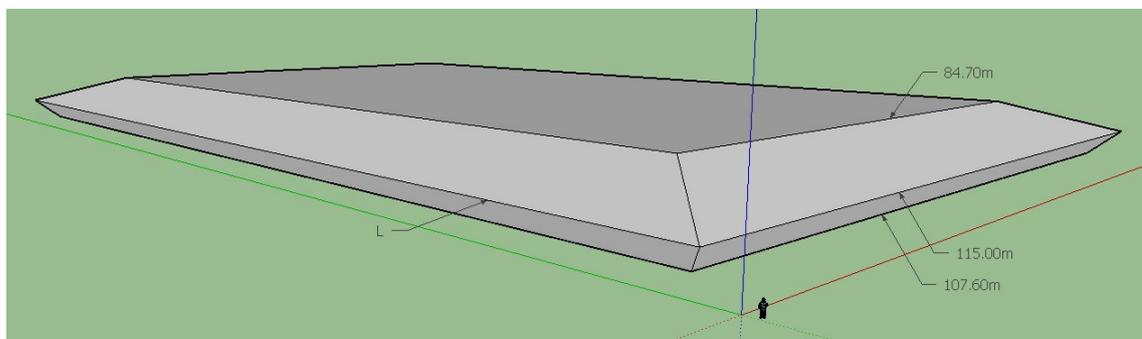
- Talud de Módulo de RSU: Pendiente 1:3
- Desarrollo de talud: 15,15m en horizontal y 5,05m en vertical
- Coronamiento de Módulo de RSU: 84,70 m

9.2.1.5. Largo de diseño

El último parámetro a determinar, es el largo de la batea en sus diferentes niveles. Tal dimensión debe garantizar un volumen mínimo, según lo estimado para el período de servicio del módulo. Recapitulando el cálculo efectuado anteriormente en la etapa de predimensionamiento (habiendo corroborado previamente que el porcentaje de recuperación de RSU es correspondido) se obtiene un valor de 164665,8(m³) para el año 2030.

Tal volumen puede expresarse como la suma de dos partes tronco piramidales, una invertida desde la base de batea hasta el coronamiento de terraplenes, y otra desde ese punto hasta el coronamiento del módulo.

$$V = V_1 + V_2 = \frac{h_1}{3} (S_1 + s_1 + \sqrt{S_1 \cdot s_1}) + \frac{h_2}{3} (S_2 + s_2 + \sqrt{S_2 \cdot s_2}) \quad (9.7)$$



*Fuente: Elaboración propia

Figura 9.7 | Volumen del módulo de residuo

“S” y “s” son las superficies de las bases mayores y menores, respectivamente. De las mismas se conocen sus anchos, y sus largos pueden definirse en relación al largo de la superficie en común:

$$S_1 = S_2 = 115(m) \cdot L \quad (9.8)$$

$$s_1 = 117,60 m \times (L - 7,40 m) \quad (9.9)$$

$$s_2 = 84,70 m \times (L - 30,30 m) \quad (9.10)$$

Teniendo en cuenta los valores de las alturas, se procede al despeje de la incógnita “L” del término cuadrático.

- $h_1 = 3,70 m$
- $h_2 = 5,05 m$
- $L = 189,39 m \cong 190,00 m$

Es así que queda definido entonces un módulo de tamaño razonable, que permite además contar con suficiente espacio en el predio para un segundo módulo de RSU (destinado a la Etapa 2). Éste podría alojar todos los residuos generados por el consorcio, aún ante una eventual incapacidad para reducir la tasa de generación de residuos, o aumentar la tasa de recuperación dentro de la IRM.

$$L_{Módulo 2} = L_{Módulo 1} * \frac{Volumen al 2030}{Volumen al 2040} = 219,24 m \cong 220,00 m$$

A continuación, se presenta una tabla donde se resumen los resultados obtenidos.

PARTE	ANCHO (m)	LARGO (m)	NIVEL (m)	PENDIENTE
Base de batea	107,60	182,60	+0,80	-
Superficie mayor de batea	115,00	190,00	+4,50	1:1
Coronamiento de batea	84,70	159,70	+9,55	1:3
VOLUMEN	165224,83 (m³)			

*Fuente: Elaboración propia

Tabla 9.23| Dimensionamiento del módulo de residuos

9.2.2. Diseño del fondo de batea

La construcción del fondo de relleno, cumple con una doble finalidad:

- Actuar como barrera para impedir que el lixiviado se infiltre, y pueda afectar negativamente la calidad de las aguas subterráneas.
- Dar pendiente de escurrimiento al líquido, para garantizar su movimiento rápido hacia los desagües destinados a su recolección y extracción.

9.2.2.1. Capa impermeable

La normativa vigente especifica una permeabilidad de un orden de $1 \times 10^{-7}(\text{cm/s})$. Tal valor puede garantizarse con un paquete de arcilla bentónica, con un espesor de 60 cm. Este diseño, satisface la normativa mencionada, y garantiza la continuidad del medio, a pesar de posibles asentamientos diferenciales.

Se prevé su construcción sobre un manto de arena limpia de 1 m, con la intención de fundar la capa impermeable sobre un estrato estable de alta porosidad. Esto disminuye tanto el riesgo de asentamientos importantes, como de recibir empujes inferiores ante un ascenso extraordinario de la napa freática.

La terminación ha de tener una pendiente del 2%, hacia el lateral oeste del módulo de residuos. En este lugar se dispone la cañería principal del desagüe de lixiviados, como se desarrolla más adelante. Pendientes en el sentido norte y sur, también son previstas para derivar el líquido hasta las colectoras.

Sobre la capa impermeable, se opta por la colocación de una membrana plástica como barrera adicional, atendiendo a las buenas prácticas y antecedentes existentes. Se proyecta una lámina de policloruro de vinilo (PVC) especial, que se ofrece comercialmente en el espesor de 800 μm . La utilización de esta capa amerita también la colocación de un geotextil adecuado, que la proteja ante el eventual punzonamiento que pueda producir un objeto duro entre el RSU durante su compactación.

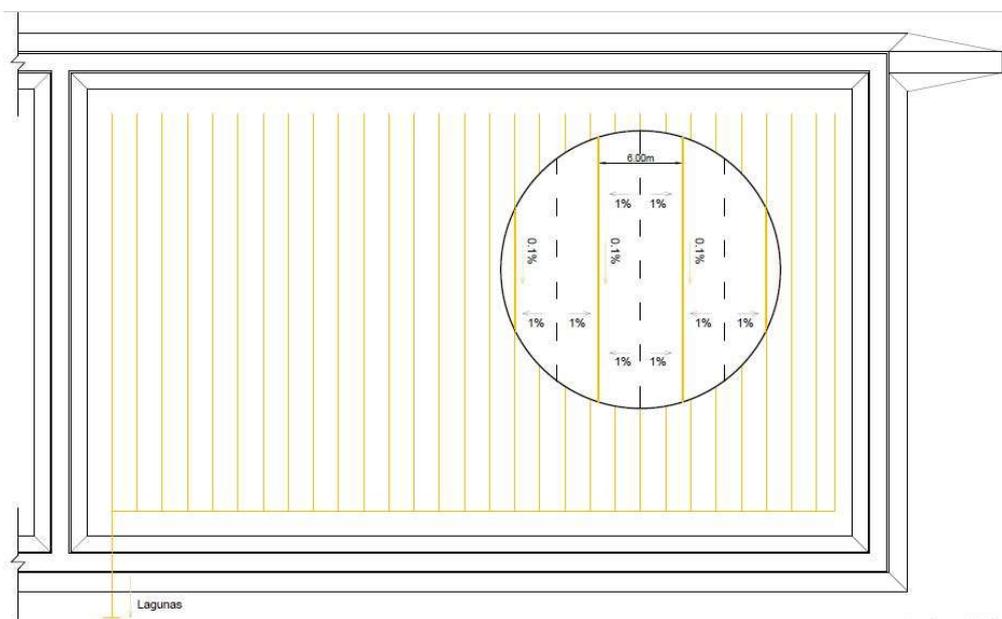
9.2.2.2. Drenaje de fondo

Sobre el geotextil antes mencionado, se prevé una capa de 0,40 m de arena limpia en el fondo de batea. La misma tiene la finalidad de separar la geomalla del RSU compactado, y proporcionar un lecho poroso donde desarrollas las cañerías de desagüe.

Se opta en todos los casos por cañerías de PVC de 100 mm de diámetro, con perforaciones cada 50 cm. Se trata de 31 ramales, separados 6 m entre sí, con desarrollo en sentido este a oeste. Se define a su vez una pendiente 1:1000. Los conductos

mencionados, desaguan en una cañería principal, de desarrollo en sentido sur a norte, que se desvía al oeste para desembocar en al comienzo de la serie de lagunas.

Dada la propuesta del tratamiento de los lixiviados por lagunaje a pie del desagüe, no se considera necesaria la derivación durante la operación del relleno, del agua de precipitación infiltrada en sectores aún limpios de la batea. Se entiende que el uso de sectorizaciones con mermas de arcilla y válvulas de derivación, pierde importancia para el tamaño del relleno propuesto, y que el caudal extra resulta beneficioso para la limpieza periódica de las cañerías de desagüe. Así mismo, se garantiza el volumen necesario para el correcto funcionamiento de las lagunas.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 9.8 | Esquema de desagüe para el módulo proyectado

9.2.3. Diseño de la cobertura final del módulo

El diseño de la cobertura final del relleno sanitario, pretende encausar superficialmente el agua de precipitación que caiga sobre el mismo tras su clausura, impidiendo su infiltración y la consecuente generación de nuevo lixiviado. Al mismo tiempo, constituye la terminación arquitectónica final, que brinda valor al paisaje que ha sufrido el impacto de un importante pasivo ambiental.

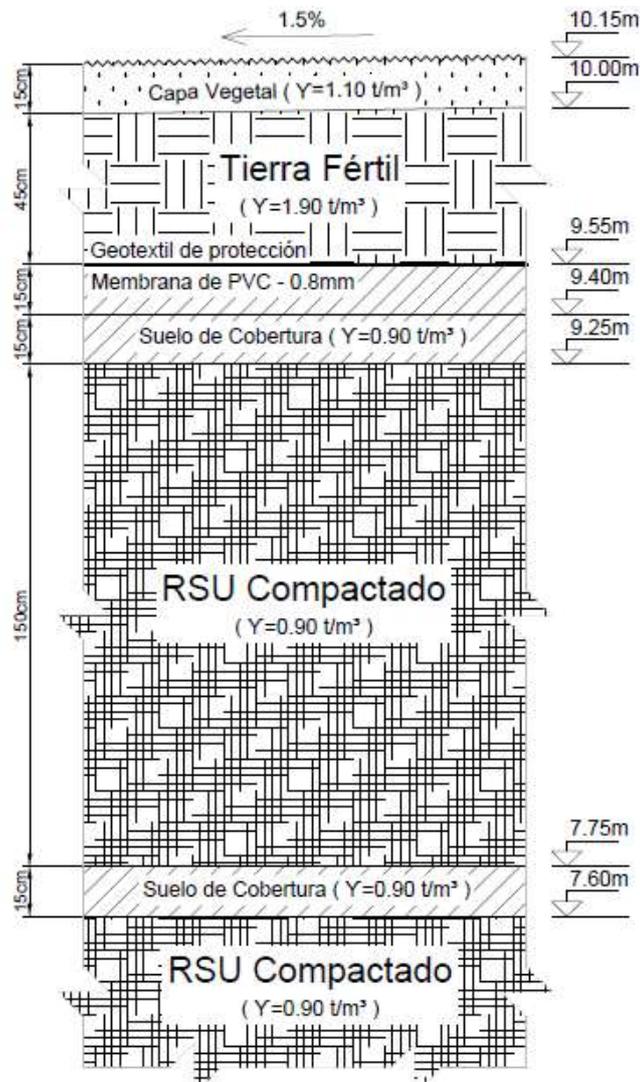
Si bien la etapa de clausura del relleno excede el alcance del presente proyecto, se puede realizar una serie de consideraciones, sobre los lineamientos básicos involucrados.

Constructivamente, se opta por un paquete similar al enunciado en la sección 7.1.2. de Predimensionamiento del complejo ambiental. Sobre la última tapada producto de

la explotación del terreno, se debe colocar una nueva membrana de PVC de 800 μm de espesor, con su propia protección de geomalla, para dar terminación con una capa de 45 cm de tierra fértil.

El espesor de la capa de cobertura final (equivalente a una paleta de tierra), resulta suficiente para evitar daños a la membrana plástica, y permitirá el crecimiento de una especie vegetal adecuada (sin raíces invasivas en profundidad).

Dadas las dimensiones generosas de los módulos de residuos, es posible proyectar el diseño de espacios deportivos, en cuyo caso deberá preverse una pendiente de cobertura cercana al 1,5%. Al final del talud, en su encuentro con el coronamiento de los terraplenes (que seguirán o no funcionando como vías de circulación), deberá preverse la canalización de las aguas recolectadas para su escurrimiento fuera del predio.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 9.9 | Paquete constructivo de la cobertura final de relleno

9.3. Sistema de tratamiento de lixiviados

9.3.1. Caudal de diseño

Recapitulando lo expresado con anterioridad en la unidad de marco teórico, se procede al cálculo simplificado del balance hídrico del RSU compactado, para la determinación del caudal de lixiviado generado por el relleno sanitario (ver ecuación 3.7). Se definen las variables de interés, en relación a un período de 60 días, siendo este el tiempo de retención hidráulica escogido para las lagunas de estabilización.

$P_M \equiv$ Precipitación media del bimestre más lluvioso (Noviembre/Diciembre)

$$P_M = 0,1525 \left(\frac{m}{m^2} \right) + 0,1215 \left(\frac{m}{m^2} \right) = 0,274 \left(\frac{m}{m^2} \right)$$

$A \equiv$ Extensión superficial de ambos módulos de RSU

$$A = 115(m) \cdot [190(m) + 220(m)] = 47150(m^2)$$

$K \equiv$ Factor de corrección para compacidad de 900 $\left(\frac{Kg}{m^3} \right)$

$$K = 0,30$$

$t \equiv$ Período en días del bimestre

$$t = 61 \text{ (día)}$$

$$\therefore Q_M = \frac{P_M \cdot A \cdot K}{t} = 63,54 \left(\frac{m^3}{día} \right)$$

9.3.2. Dimensionamiento de lagunas de estabilización

Si bien durante la definición de las opciones disponibles para el tratamiento del líquido lixiviado se hizo foco en tres tipos diferentes de lagunas, se opta en esta instancia por diseñar el sistema mediante el uso de una laguna anaeróbica en combinación lagunas facultativas, proyectando el funcionamiento de tres unidades en serie:

- Laguna anaeróbica
- Laguna facultativa A
- Laguna facultativa B

Esta forma de resolución acompaña las prácticas frecuentes de la región, y permite un grado de depuración en el agua residual (como se demuestra más adelante)

suficiente para su vuelco en los cursos de agua naturales. Se entiende que no es justificado el requerimiento espacial de lagunas de aeróbicas (como las tradicionalmente empleadas para obtener agua destinada a riego), para un volumen de líquido tan bajo como el que representa el proyecto en esta primera etapa. Sin embargo, podría considerarse esta solución a futuro, en caso de resultar necesario.

La laguna anaeróbica sigue el diseño empírico utilizado en la región (Como el caso del complejo ambiental de la ciudad de Santa Fe) conocido como método de Marais, donde su volumen queda definido por la siguiente carga orgánica volumétrica admisible:

$$COV = 400 \left(\frac{g}{m^3 \cdot día} \right) = COT/V = Q_M \cdot DBO_5/V$$

Para el caso de las lagunas facultativas, entre ambos métodos de diseño planteados con anterioridad, se escoge el método sudafricano. Este resulta ser más adecuado para caudales con marcada naturaleza estacional y baja magnitud, como el correspondiente al caso de estudio. Se procede entonces a definir la superficie de las lagunas, siguiendo la ecuación 3.13 y las que se desprenden de ella. Nótese que, al dividir el sistema en tres lagunas, se divide también el período de retención hidráulica propuesto por la bibliografía de cabecera.

Como se detalla más adelante, se prevé la descarga de los efluentes tratados en un conducto pluvial, siendo el Arroyo Colastiné el cuerpo receptor final. Consecuentemente, el diseño del sistema de tratamiento se efectúa contemplando las exigencias legales establecidas para el vertimiento de líquidos residuales, en conductos pluviales abiertos y cuerpos superficiales de agua.

LAGUNA ANAERÓBICA

Esta primera unidad recibe el líquido directamente decantado desde el RSU, por lo que debe definirse su carga orgánica total mediante lo expuesto en la sección 3.8.1, y establecerse un tirante de agua adecuando. Seguidamente, se establece un volumen necesario, a resolver en un diseño de planta aproximadamente cuadrada. Respetando estos límites, el método garantiza una depuración del líquido del 50% para la temperatura media considerada.

$DBO_5 \equiv$ Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días

$$DBO_5 = 10000 \left(\frac{mg}{l} \right)$$

$COT \equiv$ Carga orgánica total en laguna anaeróbica

$$COT = Q_M \cdot DBO_5 = 635400 \left(\frac{g}{día} \right)$$

$V_{req} \equiv$ Volumen requerido por el método de Marais

$$V_{req} = \frac{COT}{COV} = 1588,50(m^3)$$

$P \equiv$ Tirante de agua disponible

$$P = 4,00(m)$$

Para cubrir el requerimiento volumétrico calculado, se propone una unidad de tratamiento, cuyas dimensiones son verificadas para garantizar su funcionalidad.

ANCHO (m)	21,80
LARGO (m)	28,00
SUPERFICIE (m²)	610,40
RAZÓN DE LADOS – R	1,28
TIRANTE DISPONIBLE (m)	4,00
PENDIENTE	1:1
VOLUMEN DISPONIBLE (m³) – V	1729,14

*Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.24 | Dimensionamiento de laguna anaeróbica

- $V > V_{req} \rightarrow$ Dimensión suficiente para el tratamiento biológico
- $R < 1,5 \rightarrow$ Buenas condiciones de estancamiento hidráulico
- $COV_{Aplicado} = \frac{635400 \left(\frac{g}{día} \right)}{1729,14(m^3)} = 367,47 \left(\frac{g}{m^3 \cdot día} \right)$

$COV_{Aplicado} \approx 400 \left(\frac{g}{m^3 \cdot día} \right) \rightarrow$ Carga orgánica volumétrica adecuada

- $T_{rh_{Aplicado}} = \frac{1729,14(m^3)}{63,54 \left(\frac{m^3}{día} \right)} = 27,21(días)$
 $T_{rh_{Aplicado}} > 15(días) \rightarrow$ Tiempo de retención suficiente

LAGUNA FACULTATIVA A

Esta unidad recibe el líquido depurado al 50%, para el cual debe establecerse una concentración efectiva de tratamiento y definir un tirante de agua adecuado para la digestión facultativa.

$DBO_5 \equiv$ Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días

$$DBO_5 = 5000 \left(\frac{mg}{l} \right)$$

$L_i \equiv$ Concentración del afluente

$$L_i = 0.50 \cdot \frac{COT}{Q_M} = 0.50 \cdot \frac{DBO_5 \cdot Q_M}{Q_M} = 0.50 \cdot DBO_5 = 2500 \left(\frac{mg}{l} \right)$$

$K \equiv$ Factor en base a la temperatura media del mes más frío: Julio, 6(°C)

$$K = 0,30 \cdot 1,05^{(6-20)} = 0,15152$$

$P \equiv$ Tirante de agua disponible

$$P = 1,50(m)$$

$L_e \equiv$ Concentración de efluente buscada en esta etapa

$$L_e = 400 \left(\frac{mg}{l} \right)$$

$$\therefore S_{req} = \frac{Q_M}{P \cdot K} \cdot \left(\frac{L_i}{L_e} - 1 \right) = 1467,72(m^2)$$

Para cubrir el requerimiento superficial calculado, se propone una unidad de tratamiento, cuyas dimensiones son verificadas para garantizar su funcionalidad.

- $T_{rh_{Aplicado}} = 1368,29(m^3) / 63,54 \left(\frac{m^3}{día}\right) = 21,53(días)$

De esta manera, se corrobora también que el sistema aporta un tiempo de retención hidráulica suficiente:

$$T_{rh_1} + T_{rh_2} + T_{rh_3} = 27,21(días) + 28,47(días) + 21,53(días) = 77,21(días)$$

$$T_{rh_{Total}} > 60(días) \rightarrow \text{Retención suficiente en el tratamiento}$$

9.3.3. Características constructivas

El sistema de lagunaje planteado (al igual que el módulo del relleno sanitario) requiere de una serie de lineamientos constructivos, para lograr la materialización del proyecto.

Los taludes propuestos en terraplenes, surgen de la bibliografía de cabecera, como así también el ancho de sus coronamientos. Como puede observarse en la planimetría, se utiliza un ancho de 1 m en general, un ancho de 3 m para los terraplenes donde sea necesario colocar cámaras de inspección y derivación, y un ancho de 5 m en el coronamiento reservado al ingreso de camiones (para eventuales tareas de remoción de fangos y mantenimiento).

Los lodos precipitados, requieren de un espacio reservado al fondo de la laguna, para sedimentar sin interrumpir el flujo del tratamiento. Se guardan 30 cm para la sedimentación, desde los cuales se deja espacio para el tirante disponible de agua de 1,50 m, y una revancha de 60 cm hasta el coronamiento.

9.3.5. Desinfección por cloración

Como ha sido expuesto anteriormente, el sistema tratamiento de lixiviados ha sido diseñado para garantizar un efluente de calidad apropiada, para el vertimiento previsto en este proyecto. Pese a lograrse una fuerte reducción de los valores de DBO⁵ y del NMP de coliformes fecales, se ha decidido adicionar un proceso de desinfección por cloración, en el sistema de tratamiento. El mismo tiene por objetivo garantizar la eliminación de los agentes patógenos, que potencialmente pueda contener el agua residual. Por otro lado, esta instancia de tratamiento permite reducir aún más el número de coliformes presentes el líquido tratado.

Como se expone más adelante en esta misma unidad, las lagunas de estabilización permiten lograr una adecuada adaptación a la normativa vigente. Sin embargo, para tener una clara certeza del valor real del número de coliformes presentes en el efluente, es necesario realizar controles periódicos a la salida del sistema de tratamiento. Al preverse la existencia de una unidad de cloración, se proporciona un mayor grado de seguridad. Esto se debe a que en caso de obtenerse mediciones del número de coliformes que superan a la expectativa del proyecto, se podrá ajustar la dosis de cloro aplicada, alcanzándose la calidad requerida en el agua residual.

El efluente proveniente de la laguna secundaria facultativa, es conducido por medio de una cañería de PVC de 110 mm de diámetro hasta una cámara de contacto, donde se lleva adelante el proceso de desinfección. El mismo consiste en la inyección automática de una solución de hipoclorito de sodio, en el ingreso de la estructura de la cámara, por medio del empleo de una bomba dosificadora de cloro. Se proyecta el empleo de una dosis convencional de 5 mg/l.

Una cámara de contacto es unidad rectangular, dotada de una serie de paneles deflectores fijos que conforman una serie de canales estrechos, a través de los cuales circula el agua. La geometría de la estructura permite garantizar un régimen hidráulico y un tiempo de permanencia, adecuados para el contacto y reacción entre el cloro y los agentes orgánicos contenidos en el líquido.

Luego, se calcula la pérdida de carga por fricción:

$$hf (m) = \frac{n \times v}{r^{2/3}} \times L \quad (9.18)$$

Siendo:

- $r (m) = \frac{A (m^2)}{P (m)} = 0,027$ (radio hidráulico)
- $P(m) = [2 \times h (m)] + a(m) = 0,27$
- $n = 0,12$ (Coeficiente de Manning para mampostería de ladrillo revestida).

$$\therefore hf = 0,120$$

Finalmente, la pendiente mínima de la solera, se calcula mediante el cociente entre la pérdida de carga total y la longitud de conducción

$$i (\%) = \frac{hg (m) + hf (m)}{L (m)} \times 100 \cong 0,16\% \quad (9.19)$$

9.3.6. Vertimiento de los efluentes tratados

En el presente proyecto, en función de la información recabada y analizada en la sexta unidad, se ha seleccionado al Canal Secundario Larrechea como cuerpo receptor del líquido resultante del sistema de tratamiento. El mismo se conecta con el Canal Principal Larrechea, el cual a su vez se vincula con el Arroyo Colastiné en su extremo sur. Este último, constituye el cuerpo receptor final.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 9.12 | Vuelco de efluentes tratados

A partir de los registros de la estación de monitoreo "Autopista" (próxima al punto de descarga), provistos por la base de datos hidrológica integrada de la república Argentina, se conoce el caudal medio diario del Arroyo Colastiné:

$$Q_{md} = 5,91 \text{ m}^3/\text{s}$$

El mismo se obtiene a partir de las mediciones efectuadas entre Octubre de 1984 y Diciembre de 2017.

9.4. Sistema de control de gases

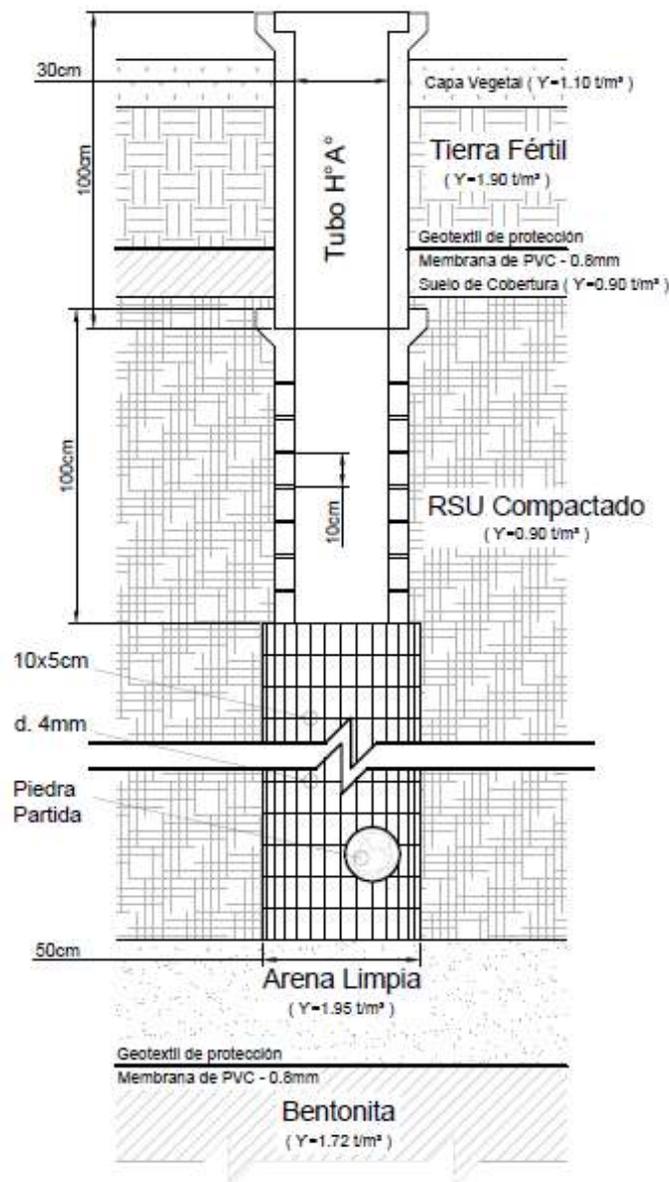
Para esta primera etapa de proyecto, la gestión del biogás producido dentro del módulo de relleno, se diseña exclusivamente para evacuarlo adecuadamente. Etapas posteriores de la vida útil de la obra, pueden diseñarse poniendo en consideración el uso de dichos gases. En dicho caso, debería analizarse la existencia de una relación propicia en cuanto a costo/beneficio. Puede optarse también por soluciones técnicas y ambientales más complejas, como su quema.

9.4.1. Chimeneas de evacuación

Se definen a continuación, el diseño y disposición de artefactos de evacuación de gases como los descritos en la sección 3.8.2. del marco conceptual, llamados “chimeneas”. Dichos drenajes pasivos se colocan durante la explotación de los módulos de relleno, a una distancia funcional uno de otro, de manera de purgar los gases contenidos en el RSU. De esta manera, se controla la presión provocada por su flujo y estancamiento (un riesgo para la estabilidad del conjunto), y disminuye el riesgo de incendio.

La materialización de las chimeneas, se proyecta por medio del empleo de gaviones de piedra partida. A medida que el módulo de relleno sea explotado y las celdas diarias sean conformadas, un almacén de tejido metálico ha de ser dispuesto para el drenaje de gas, relleniéndolo con piedra partida hasta superar la cobertura esperada para la jornada.

Como corresponde a las buenas prácticas, el tramo final de la altura se remata con dos piezas de tubo premoldeado en H°A°, buscando dirigir adecuadamente la evacuación del gas. Al mismo tiempo, queda constituida una solución más duradera ante los efectos de la intemperie, tras la clausura del relleno. La primera pieza debe perforarse para continuar permeable al gas, mientras que la segunda permanece íntegra.



*Fuente: Elaboración propia

Figura 9.13 | Detalle de chimeneas de evacuación de gases

Como se observa en la figura anterior, se opta por chimeneas de 50 cm de diámetro en su sección de gavión, a construir con tramos cilíndricos de malla de 10x5 cm de alambre de 4 mm de diámetro, y piedra partida de una graduación acorde. Los tramos de tubería de H°A°, se diseñan con diámetro interno de 30 cm. Estas especificaciones permiten permanecer dentro de la oferta comercial.

La disposición de las chimeneas se proyecta optando un radio de acción 30 m, acorde a las limitaciones propuestas por la bibliografía de cabecera, y procurando que la totalidad de los drenajes se construya fuera del desarrollo de taludes. Con un total de 15 chimeneas, separadas 36,30 m a lo ancho y 36,90 m a lo largo, logra cubrirse completamente la superficie del módulo.



**Fuente: Sobreflora.blogspot.com*

Figura 9.18 | Calistemo

11.2. Impactos ambientales

A continuación, se presente una tabla resumen, en la que se recapitulan todas las incidencias inherentes al proyecto. En la misma, se ponen de manifiesto las implicancias relativas a cada factor y componente del medio, durante las distintas etapas temporales ya descritas.

En el gráfico mencionado, se diferencian la situación sin proyecto y con proyecto, así como cada una de las etapas relativas al mismo. Si bien se analizan por separado los períodos de construcción, explotación y clausura y post-clausura, en la práctica varias actividades pueden solaparse. Por ejemplo, durante la explotación del primer módulo de relleno sanitario, tiene lugar la ejecución de obras de movimiento de suelos para la construcción del segundo.

Finalmente, resulta importante resaltar que se han incorporado los impactos positivos (por ejemplo: cambio cultural a un consumo eficiente, desarrollo de mayor conciencia ambiental) que tienen lugar por la aplicación de las medidas de intervención no estructurales, que han sido propuestas en el presente proyecto.

Simbología empleada:

- *Impactos positivos: (+)*
- *Impactos negativos: (-)*

