



UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
INSTITUTO DE MECÁNICA DE LOS FLUÍDOS E INGENIERÍA  
AMBIENTAL

**Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental**

**COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE  
SANEAMIENTO SEPARATIVO POR MÉTODO  
DE ANÁLISIS MULTICRITERIO**

**Autor: ESTEBAN PÉREZ ROCAMORA**

**Tutora: ALICE ELIZABETH GONZÁLEZ**

Montevideo, Uruguay

2019





## **PÁGINA DE APROBACIÓN**

### **FACULTAD DE INGENIERÍA**

El tribunal integrado por los abajo firmantes, aprueba la Tesis de Maestría:

Título: .....

Autor: .....

Tutor: .....

Puntaje: .....

Tribunal: .....

.....

.....

Fecha: .....





## **AGRADECIMIENTOS**

A Mónica, Franco y Santino, por ayudarme a encontrar el equilibrio perfecto entre la vida laboral, académica y familiar.

A mi Hermano, Mamá y Papá, por permitirme y ayudarme a estudiar lo que me gusta.

A mis Abuelas. A Mariel y Jorge.

A Elizabeth González, soporte académico, profesional y personal desde el año 2001, por su paciencia permanente y apoyo constante.

A los Colegas y Amigos por su aporte.





## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CUADROS E ILUSTRACIONES .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....</b>	<b>X</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>23</b>
<b>2. SISTEMAS DE SANEAMIENTO .....</b>	<b>27</b>
2.1. INTRODUCCIÓN .....	27
2.2. ¿POR QUÉ SANEAMIENTO? .....	29
2.3. TIPOS DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO.....	30
2.4. SANEAMIENTO EN URUGUAY .....	34
2.5. SISTEMA DE SANEAMIENTO SEPARATIVO CONVENCIONAL.....	39
2.5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL .....	39
2.5.2. CRITERIOS DE DISEÑO.....	39
2.5.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS PRELIMINARES .....	43
2.6. SISTEMA DE SANEAMIENTO SEPARATIVO ALTERNATIVOS.....	45
2.6.1. REVISIÓN DE CRITERIOS DE DISEÑO .....	46
2.6.2. SISTEMA DE EFLUENTES DECANTADOS .....	46
2.6.3. SISTEMA CONDOMINIAL .....	52
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>59</b>
3.1. TOMA DE DECISIÓN .....	59
3.2. INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES .....	61
3.3. MÉTODOS MULTICRITERIO.....	62
3.3.1. INTRODUCCIÓN .....	62

3.3.2. CLASIFICACIÓN DE AMC.....	63
<b>3.4. PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO.....</b>	<b>65</b>
3.4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	65
3.4.2. METODOLOGÍA.....	66
3.4.3. PROCEDIMIENTO PARA EL AHP.....	70
<b>3.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO AHP ..</b>	<b>71</b>
3.5.1. GRUPO DE EXPERTOS.....	72
3.5.2. SELECCIÓN DE CRITERIOS.....	72
3.5.3. ESQUEMA JERÁRQUICO.....	73
3.5.4. MATRICES DE COMPARACIÓN.....	73
3.5.5. PONDERACIÓN.....	74
3.5.6. CONSISTENCIA.....	75
3.5.7. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	76
3.5.8. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	77
<b>3.6. ANTECEDENTES.....</b>	<b>77</b>
<b>4. DESARROLLO DEL MODELO.....</b>	<b>79</b>
<b>4.1. PRESENTACIÓN.....</b>	<b>79</b>
<b>4.2. SELECCIÓN DE CRITERIOS.....</b>	<b>79</b>
4.2.1. SUBCRITERIOS TÉCNICOS.....	80
4.2.2. SUBCRITERIOS DE COSTOS.....	82
4.2.3. SUBCRITERIOS SOCIO-AMBIENTALES.....	85
<b>5. ANÁLISIS DE ESCENARIOS.....</b>	<b>89</b>
<b>5.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>89</b>
<b>5.2. ESCENARIO 1.....</b>	<b>90</b>
5.2.1. DESCRIPCIÓN.....	90
5.2.2. COMPARACIÓN DE CRITERIOS.....	90
5.2.3. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS.....	90
5.2.4. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE COSTOS.....	91

5.2.5. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE SOCIO AMBIENTALES .....	92
5.2.6. RESULTADO.....	92
5.2.7. JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	93
<b>5.3. ESCENARIO 2 .....</b>	<b>96</b>
5.3.1. DESCRIPCIÓN .....	96
5.3.2. COMPARACIÓN DE CRITERIOS .....	97
5.3.3. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS.....	97
5.3.4. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE COSTOS.....	98
5.3.5. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE SOCIO AMBIENTALES .....	98
5.3.6. RESULTADO.....	99
5.3.7. JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	100
<b>5.4. ESCENARIO 3 .....</b>	<b>103</b>
5.4.1. DESCRIPCIÓN .....	103
5.4.2. COMPARACIÓN DE CRITERIOS.....	103
5.4.3. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS.....	104
5.4.4. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE COSTOS.....	104
5.4.5. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES .....	105
5.4.6. RESULTADO.....	106
5.4.7. JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	107
<b>5.5. ESCENARIO 4 .....</b>	<b>110</b>
5.5.1. DESCRIPCIÓN .....	110
5.5.2. COMPARACIÓN DE CRITERIOS.....	110
5.5.3. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS.....	110
5.5.4. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE COSTOS.....	111
5.5.5. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES .....	112
5.5.6. RESULTADO.....	112
5.5.7. JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	113
<b>5.6. ESCENARIO 5 .....</b>	<b>116</b>

---

5.6.1. DESCRIPCIÓN .....	116
5.6.2. COMPARACIÓN DE CRITERIOS.....	117
5.6.3. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS.....	117
5.6.4. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE COSTOS.....	117
5.6.5. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES .....	118
5.6.6. RESULTADO.....	119
5.6.7. JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	119
<b>5.7. ESCENARIO 6 .....</b>	<b>123</b>
5.7.1. DESCRIPCIÓN .....	123
5.7.2. COMPARACIÓN DE CRITERIOS.....	123
5.7.3. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS.....	124
5.7.4. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS DE COSTOS.....	124
5.7.5. COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES .....	125
5.7.6. RESULTADO.....	125
5.7.7. JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS .....	126
<b>6. ENTREVISTAS .....</b>	<b>131</b>
<b>6.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>131</b>
<b>6.2. ANÁLISIS DE ESCENARIO 2.....</b>	<b>131</b>
<b>6.3. ANÁLISIS DE ESCENARIO 4.....</b>	<b>137</b>
<b>7. SINTESIS FINAL .....</b>	<b>143</b>
<b>7.1. ACERCA DEL USO DE SISTEMAS DE SANEAMIENTO SEPARATIVO.....</b>	<b>143</b>
<b>7.2. ACERCA DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA .....</b>	<b>144</b>
7.2.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	144
7.2.2. MEJORAS AL MODELO.....	146
<b>7.3. A MODO DE CONCLUSIONES FINALES .....</b>	<b>146</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>149</b>

<b>9. ANEXO – MATRICES DE COMPARACIÓN PARA ANÁLISIS DE ESCENARIOS.....</b>	<b>157</b>
<b>10. ANEXO – MATRICES DE COMPARACIÓN – GRUPO ENTREVISTAS</b>	<b>171</b>



## RESUMEN

El saneamiento se puede definir como el proceso que gestiona los efluentes líquidos (domésticos y/o no domésticos) desde su generación hasta su disposición final. Bajo esta definición, se tienen registros de sistemas de saneamiento en la antigua Grecia y Roma. Posteriormente, el crecimiento de las ciudades no fue acompañado por el desarrollo de tecnología para la evacuación de las aguas servidas, por lo que se vivieron varias epidemias. Fue en el siglo XIX cuando se comenzó a considerar la evacuación de las aguas servidas como un servicio básico en las ciudades, donde se implementaron los sistemas de saneamiento unitario, y posteriormente, los separativos y mixtos.

El sistema de saneamiento separativo convencional es el sistema más utilizado para la recolección y transporte de líquidos residuales domésticos actualmente. Está compuesto en todos sus casos por colectores que funcionan en flujo por gravedad, con una pendiente tal que favorece esa condición. Las tuberías están ubicadas sobre eje de calles o veredas preferentemente, en espacios públicos. Los criterios de diseño se basan principalmente en diámetro mínimo y condiciones de pendiente o velocidad mínima que aseguren la autolimpieza. En algunas zonas, la extensión de dichas redes de tipo separativo tiene un costo elevado de inversión.

Por esto es que la implementación de sistemas de saneamiento separativos alternativos, eficientemente comparables a los sistemas convencionales desde el punto de vista técnico, y con menores costos de inversión puede ser otra opción a considerar. Uno de los sistemas desarrollados son los sistemas de saneamiento de efluentes decantados, conocidos también internacionalmente como “sistemas de pequeño diámetro”. Estos consisten en una combinación de tratamiento de efluentes domiciliario y un sistema colectivo de recolección y conducción de pequeños diámetros. Se diseñan para recibir la porción líquida de las aguas residuales domésticas para su disposición y tratamiento, ya que la arena, grasa y otros sólidos que podrían obstruir las tuberías son retenidos en las fosas sépticas domiciliarias. Por tal condición, es que no es necesario cumplir con el criterio de diseño de autolimpieza requerido en sistemas convencionales. Los diámetros mínimos son hasta 75 mm y se pueden emplear tramos de tuberías con pendiente ascendente.

Otra variante al saneamiento convencional es el saneamiento condominial. Fue desarrollado por primera vez en los estados del nordeste de Brasil (Rio Grande del Norte, Pernambuco) como una alternativa de menor costo al sistema convencional. Este sistema

presenta características que lo diferencian de las otras alternativas de saneamiento. El trazado de los colectores secundarios es por el interior de los predios particulares desde las instalaciones sanitarias, acompañando la pendiente del terreno para evitar excavaciones profundas. También es usual que los colectores sean trazados por veredas u otros espacios públicos para obtener ahorros sustanciales en longitud, diámetro y profundidad.

En Uruguay, en la mayoría de los proyectos de saneamiento, se considera como solución tecnológica única el sistema convencional, sin incluir en la evaluación otras tecnologías de saneamiento separativo técnicamente admisibles.

En el marco de este trabajo, se propone la base de un modelo para realizar la comparación mediante la aplicación del método multicriterio AHP (Analytic Hierarchy Process) de los sistemas de saneamiento separativo (convencional, condominial, efluentes decantados) en diferentes escenarios de aplicación.

El objetivo del método es establecer prioridades o ponderaciones para atribuir a diferentes criterios o variables predefinidas sobre el problema. El resultado de esta priorización permite la elección de la alternativa más adecuada. El AHP integra aspectos cualitativos y cuantitativos en un proceso único de decisión. Dada su metodología, es posible el uso de valores personales, experiencia, intuición, conocimiento y pensamiento lógico en una única estructura de análisis, de manera individual, y a partir de estos resultados obtener una decisión grupal. Los criterios son aspectos que justifiquen o no la aplicabilidad de cada sistema, ya que no tiene sentido realizar la comparación sobre criterios que los resultados, positivos o negativos, sean los mismos para las tres alternativas. Dentro del universo de criterios aplicables en proyectos de infraestructura, y particularmente, en proyectos de ingeniería sanitaria, se optó por una subclasificación en tres categorías: criterios técnicos, de costos y socio-ambientales.

Palabras Clave Efluentes domésticos, Saneamiento, análisis Multicriterio

## TABLA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

### Índice de Figuras

<b>FIGURA 2-1 DEPÓSITO IMPERMEABLE.....</b>	<b>32</b>
FIGURA 2-2 ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE LOS LÍQUIDOS Y DESECHOS EN POZOS PERMEABLES CON INFILTRACIÓN EN TERRENO .....	32
FIGURA 2-3 SECCIÓN DE UN COLECTOR OVOIDE DE LA RED ARTEAGA, MONTEVIDEO (1898).....	33
FIGURA 2-4 SISTEMA DE SANEAMIENTO UNITARIO .....	34
FIGURA 2-5 SISTEMAS DE SANEAMIENTO EN EL INTERIOR DEL URUGUAY. OSE.....	36
FIGURA 2-6 COBERTURA DE SANEAMIENTO EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO .....	36
FIGURA 2-7 COBERTURA DE ALCANTARILLADO EN URUGUAY POR DEPARTAMENTO .	38
FIGURA 2-8 ESQUEMA DE UNA RED DE ALCANTARILLADO CONVENCIONAL.....	39
FIGURA 2-9 PLANO TIPO REGISTRO.....	44
FIGURA 2-10 ESQUEMA DE UNA RED DE SANEAMIENTO DE EFLUENTES DECANTADOS .....	47
FIGURA 2-11 DETALLES DE FOSA SÉPTICA MEVIR.....	49
FIGURA 2-12 ESQUEMA DE UNA RED DE SANEAMIENTO CONDOMINIAL. ....	53
FIGURA 2-13 CÁMARAS DE INSPECCIÓN PARA RED CONDOMINIAL, BRASILIA. ....	56
FIGURA 3-1 ESQUEMA DE PROBLEMA DE DECISIÓN .....	59
FIGURA 3-2 JERARQUÍA DEL PROBLEMA .....	67
FIGURA 3-3 SELECCIÓN DE CRITERIOS .....	72
FIGURA 3-4 JERARQUÍA DEL MODELO .....	73
FIGURA 3-5 MATRIZ A DE IMPORTANCIA RELATIVA ENTRE CRITERIOS .....	73
FIGURA 3-6 EJEMPLO DE MATRIZ DE COMPARACIÓN CON 3 CRITERIOS .....	74
FIGURA 3-7 EJEMPLO DE MATRIZ DE COMPARACIÓN CON 3 CRITERIOS: CÁLCULO DE CUADRADO .....	74
FIGURA 3-8 EJEMPLO DE MATRIZ DE COMPARACIÓN CON 3 CRITERIOS: SUMA DE ELEMENTOS POR FILA .....	74
FIGURA 3-9 EJEMPLO DE MATRIZ DE COMPARACIÓN CON 3 CRITERIOS: CÁLCULO DE VECTOR PROPIO Y PRIORIZACIÓN DE CRITERIOS .....	75

FIGURA 3-10 MATRIZ DE JERARQUIZACIÓN DE ALTERNATIVAS POR CRITERIOS .....	76
FIGURA 3-11 PUNTAJE FINAL POR ALTERNATIVA .....	76

### **Índice de Tablas**

TABLA 2-1 RESUMEN DE CRITERIOS DE DISEÑO DE REDES SEPARATIVAS .....	41
TABLA 3-1 ESCALA DE VALORES DE SAATY .....	68
TABLA 3-2 ÍNDICE ALEATORIO (SAATY, 1997).....	70
TABLA 3-3 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS POR CRITERIOS .....	76
TABLA 5-1 COMPARACIÓN DE CRITERIOS ESCENARIO 1 .....	90
TABLA 5-2 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS ESCENARIO 1 .....	91
TABLA 5-3 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS COSTOS ESCENARIO 1 .....	91
TABLA 5-4 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES ESCENARIO 1 ....	92
TABLA 5-5 JERARQUIZACIÓN DE SUBCRITERIOS ESCENARIO 1 .....	93
TABLA 5-6 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 1 .....	94
TABLA 5-7 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 1.....	96
TABLA 5-8 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 1 .....	96
TABLA 5-9 COMPARACIÓN DE CRITERIOS ESCENARIO 2.....	97
TABLA 5-10 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS ESCENARIO 2.....	97
TABLA 5-11 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS COSTOS ESCENARIO 2 .....	98
TABLA 5-12 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES ESCENARIO 2 ..	99
TABLA 5-13 JERARQUIZACIÓN DE SUBCRITERIOS ESCENARIO 2 .....	99
TABLA 5-14 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 2 .....	100
TABLA 5-15 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 2.....	102
TABLA 5-16 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 2 .....	103
TABLA 5-17 COMPARACIÓN DE CRITERIOS ESCENARIO 3.....	104
TABLA 5-18 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS ESCENARIO 3.....	104
TABLA 5-19 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS COSTOS ESCENARIO 3 .....	105
TABLA 5-20 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES ESCENARIO 3	105

TABLA 5-21 JERARQUIZACIÓN DE SUBCRITERIOS ESCENARIO 3 .....	106
TABLA 5-22 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 3 .....	107
TABLA 5-23 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 3.....	109
TABLA 5-24 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 3 .....	109
TABLA 5-25 COMPARACIÓN DE CRITERIOS ESCENARIO 4 .....	110
TABLA 5-26 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS ESCENARIO 4.....	111
TABLA 5-27 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS COSTOS ESCENARIO 4 .....	111
TABLA 5-28 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES ESCENARIO 4	112
TABLA 5-29 JERARQUIZACIÓN DE SUBCRITERIOS ESCENARIO 4 .....	112
TABLA 5-30 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 4 .....	113
TABLA 5-31 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 4.....	116
TABLA 5-32 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 4 .....	116
TABLA 5-33 COMPARACIÓN DE CRITERIOS ESCENARIO 5 .....	117
TABLA 5-34 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS ESCENARIO 5.....	117
TABLA 5-35 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS COSTOS ESCENARIO 5 .....	118
TABLA 5-36 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES ESCENARIO 5	118
TABLA 5-37 JERARQUIZACIÓN DE SUBCRITERIOS ESCENARIO 5 .....	119
TABLA 5-38 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 5 .....	120
TABLA 5-39 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 5.....	122
TABLA 5-40 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 5 .....	123
TABLA 5-41 COMPARACIÓN DE CRITERIOS ESCENARIO 6 .....	123
TABLA 5-42 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS TÉCNICOS ESCENARIO 6.....	124
TABLA 5-43 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS COSTOS ESCENARIO 6 .....	124
TABLA 5-44 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS SOCIO AMBIENTALES ESCENARIO 6	125
TABLA 5-45 JERARQUIZACIÓN DE SUBCRITERIOS ESCENARIO 6 .....	125
TABLA 5-46 COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 6 .....	126
TABLA 5-47 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 6.....	129
TABLA 5-48 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS ESCENARIO 6 .....	129

TABLA 6-1 COMPARACIÓN DE CRITERIOS POR ENTREVISTADO - ESCENARIO 2 .....	131
TABLA 6-2 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS POR ENTREVISTADO - ESCENARIO 2	132
TABLA 6-3 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS – ENTREVISTAS ESCENARIO 2.....	133
TABLA 6-4 COMPARACIÓN DE CRITERIOS GRUPAL ESCENARIO 2 .....	134
TABLA 6-5 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS GRUPAL ESCENARIO 2.....	134
TABLA 6-6 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS GRUPAL ESCENARIO 2....	135
TABLA 6-7 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS GRUPAL ESCENARIO 2 .....	135
TABLA 6-8 VERIFICACIÓN DE SENSIBILIDAD DE MÉTODO. SELECCIÓN GRUPAL ESCENARIO 2.....	135
TABLA 6-9 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS GRUPAL MODIFICADO ESCENARIO 2	136
TABLA 6-10 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS GRUPAL MODIFICADO .....	136
TABLA 6-11 COMPARACIÓN DE CRITERIOS POR ENTREVISTADO - ESCENARIO 4 ....	137
TABLA 6-12 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS POR ENTREVISTADO - ESCENARIO 4 .....	137
TABLA 6-13 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS – ENTREVISTAS ESCENARIO 4.....	138
TABLA 6-14 COMPARACIÓN DE CRITERIOS GRUPAL ESCENARIO 4 .....	139
TABLA 6-15 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS GRUPAL ESCENARIO 4.....	139
TABLA 6-16 MATRIZ DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS GRUPAL ESCENARIO 4..	140
TABLA 6-17 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS GRUPAL ESCENARIO 4 .....	140
TABLA 6-18 VERIFICACIÓN DE SENSIBILIDAD DE MÉTODO. SELECCIÓN GRUPAL ESCENARIO 4.....	141
TABLA 6-19 COMPARACIÓN DE SUBCRITERIOS GRUPAL MODIFICADO ESCENARIO 2 .....	141
TABLA 6-20 RESULTADO DE COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS GRUPAL MODIFICADO .....	142

## **Índice de Gráficos**

GRÁFICO 2-1 COBERTURA DE ACCESO A SANEAMIENTO 2012 Y AVANCE HACIA EL CUMPLIMIENTO DE META ODM 2015, POR PAÍSES (PORCENTAJE).....	28
GRÁFICO 2-2 COBERTURA DE ACCESO A SANEAMIENTO 2015 .....	28

## **Índice de Fotografías**

FOTOGRAFÍA 2-1 ASENTAMIENTO IRREGULAR SIN SERVICIO DE SANEAMIENTO.....	30
FOTOGRAFÍA 2-2 RED DE ARTEAGA, MONTEVIDEO. ....	35
FOTOGRAFÍA 2-3 APERTURA DE ZANJA PARA COLECTOR INICIAL 200 MM .....	43
FOTOGRAFÍA 2-4 REGISTROS PREFABRICADOS EN POLIETILENO.....	45
FOTOGRAFÍA 2-5 FOSA SÉPTICA DOMICILIARIA PREFABRICADA .....	50
FOTOGRAFÍA 2-6 RED CONDOMINIAL, INDIA. ....	53
FOTOGRAFÍA 2-7 TRAZADO DE RED CONDOMINIAL EN BRASILIA .....	55



## LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ABNT:	Asociación Brasileira de Normas Técnicas
ALC:	América Latina y el Caribe
AHP:	Analytic Hierarchy Process (Proceso Jerárquico Analítico)
AMC:	Análisis Multi Criterio
ANP:	Analytic Network Process (Proceso Analítico en Red).
BID:	Banco Interamericano de Desarrollo
CAF:	Corporación Andina de Fomento
CE:	Comunidad Europea
CEE:	Comunidad Económica Europea
CEPIS:	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
CIIO:	Curso de introducción a la investigación de Operaciones
DGEC:	Dirección General de Estadística y Censos (actualmente INE)
DINAGUA:	Dirección Nacional de Aguas
DINAMA:	Dirección Nacional de Medio Ambiente
GESTA:	Grupo Técnico de Estandarización Ambiental
IM:	Intendencia de Montevideo
LATINOSAN:	Conferencia Latinoamericana de Saneamiento
MAMC:	Método de Análisis Multi Criterio
MAUT:	Multi Attribute Utility Theory (Teoría de Utilidad Multiatributo)
MEVIR:	Movimiento de Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural
MVOTMA:	Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente
ODM:	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ODS:	Objetivos de Desarrollo Sostenible

OMS:	Organización Mundial de la Salud (también citada como WHO por su sigla en inglés)
ONU:	Organización de las Naciones Unidas
OPP:	Oficina de Planeamiento y Presupuesto
OPS:	Organización Panamericana de la Salud
OSE:	Administración de las Obras Sanitarias del Estado
PNUD:	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
UdelaR:	Universidad de la República
WHO:	World Health Organization (también citada como OMS por su sigla en español)

## 1. INTRODUCCIÓN

*“El crecimiento natural de la población plantea continuamente problemas relativos a la preservación del medio ambiente, y se deben adoptar las normas y medidas apropiadas, según proceda, para hacer frente a esos problemas.”* Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano, Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, 1972.

Según datos actualizados de la Organización Mundial de la Salud, en el año 2015 solo un 39 % de la población mundial hizo uso de un servicio de saneamiento seguro, es decir, sus excrementos fueron eliminados de manera segura (in situ o tratados) (OMS, 2017).

A nivel de América Latina y el Caribe, un 63 % de la población tiene acceso a saneamiento básico, mientras que solo un 22 % tiene acceso a saneamiento gestionado de manera segura.

En el año 2015, los Estados Miembros de la Organización de Naciones Unidas aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Dicho documento comprende 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas que abordan aspectos sociales, económicos y ambientales del desarrollo, entre otros. Dichos objetivos son aplicables a todos los países, donde *“cada gobierno fijará sus propias metas nacionales, guiándose por la ambiciosa aspiración general pero tomando en consideración las circunstancias del país”* (ONU, 2015).

El ODS Número 6 establece *“Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos”*, y siendo más específico se propone:

*“De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad”* (OMS, 2015).

Uruguay ha sido un país pionero en el continente en cuanto al desarrollo de sistemas de saneamiento dinámicos debido a la preocupación ya existente por el cuidado de la higiene y salud pública. Montevideo fue la primera urbanización de Latinoamérica en contar con alcantarillado por sistema unitario. En el interior del país los servicios de saneamiento se desarrollaron posteriormente, luego de la creación de OSE en 1952, que es responsable la prestación del servicio de alcantarillado en todo el territorio nacional, a excepción de Montevideo.

En la mayoría de los nuevos sistemas o ampliaciones de sistemas existentes, tanto OSE como IM han propuesto los sistemas de saneamiento dinámicos convencionales como solución, excepto algún caso en el interior del país donde se implementó la tecnología de efluentes decantados.

El costo de las obras de ejecución de sistemas de saneamiento convencional hace que solo se puedan justificar en lugares densamente poblados, con riesgo sobre la salud de la población, o en casos donde la protección del ambiente es prioridad.

De todas maneras, el país apunta a la universalización del saneamiento a partir de políticas nacionales. En el año 2017, se hizo la presentación del Plan Nacional de Aguas, donde se mencionan los siguientes objetivos particulares en saneamiento:

- Alcanzar para el año 2030 el acceso a saneamiento adecuado para toda la población.
- Ampliar la cobertura de redes de alcantarillado.
- Aumentar las conexiones en áreas cubiertas por redes.

Aunque estos objetivos a nivel país están alineados al ODS N° 6 (ONU, 2017), esta situación no es la misma para el resto de los países, ya que las realidades son todas diferentes.

Inclusive dentro de Uruguay, las condiciones físicas, administrativas, económicas, sociales y ambientales de cada localidad donde implementar sistemas de saneamiento o realizar ampliaciones varían a lo largo del territorio.

Entonces, si el objetivo es universalizar el acceso al saneamiento, en contextos con realidades diferentes no se debe considerar una única solución o aplicar una misma tecnología para cada caso. La mejor opción quedará determinada por la realidad de cada lugar.

López (2015) en su trabajo concluía que *“se debe ampliar el espectro de alternativas, analizando las ventajas y limitaciones de cada una para poder definir las opciones viables para cada caso”*.

Específicamente en Uruguay, esto hace que se deba ampliar el espectro de alternativas de implementación más allá de sistemas separativos convencionales aplicados tanto por OSE como IM.

Se han desarrollado diferentes tecnologías de sistemas separativos, llamados “saneamiento simplificado”, apuntando a la reducción de costos, de manera de viabilizar el servicio de saneamiento a pesar de ejecutarlo en zonas de baja población.

Dentro de las tecnologías alternativas se identifican los sistemas condominiales y de efluentes decantados, ya antes mencionados. Los primeros, con exitosa aplicación en Brasil principalmente, y los segundos, con casos exitosos en Estados Unidos, Australia y en Uruguay, entre otros países. Cada sistema presenta ventajas y desventajas en diferentes aspectos.

Dado un escenario (centro poblado o urbanización) donde se proyecta la construcción de una red de saneamiento separativa, según las características locales y las experiencias anteriores sobre cada tecnología (sistema convencional, condominial y efluentes decantados) se podría inferir cuál sería la mejor alternativa a implementar.

Cada técnico tiene su opinión formada sobre cada una de las tecnologías de saneamiento presentadas, y probablemente preferencia por alguna de las opciones,

de acuerdo a los diferentes criterios considerados (técnicos, costos, sociales, ambientales).

Aunque se trate de un mismo escenario de estudio, esto no implica que diferentes técnicos o profesionales idóneos en la materia seleccionen la misma opción de saneamiento como la mejor alternativa, sino que probablemente suceda lo contrario.

Los criterios mencionados, a excepción de los costos, son evaluados cualitativamente, lo que hace que la comparación entre alternativas sea difícil.

Por otro lado, algunos de las recomendaciones de diseño de los sistemas de saneamiento simplificado no son aprobados o aceptados por algunos técnicos, operadores y/o usuarios, por lo que la solución aceptada finaliza siendo una adaptación del sistema alternativo para cumplir con criterios de diseño establecidos para sistemas convencionales, que cuentan con mayor aceptación.

Bajo estas consignas, la comparación de alternativas entre diferentes tecnologías de saneamiento separativo dinámico se reduce a una comparación de costos, sin considerar las propuestas técnicas originales con sus recomendaciones de diseño, ni los aspectos o criterios de comparación técnicos, sociales y ambientales, que inclusive pueden hacer exitosa o no la implementación de una solución.

Dicho lo anterior, el objetivo de este trabajo es realizar una comparación de alternativas de saneamiento separativo convencional, condominial y efluentes decantados para diferentes escenarios, bajo un enfoque técnico objetivo, considerando criterios técnicos, costos y socios-ambientales. Cada alternativa se considera aplicando los criterios de diseño recomendados en bibliografía y obtenidos de experiencias implementadas exitosamente.

La comparación se efectúa mediante la aplicación de una metodología multicriterio denominada Proceso Analítico Jerárquico (AHP en sus siglas en inglés). El método AHP fue propuesto por Thomas L. Saaty en 1980. Desde su publicación a la fecha ha sido utilizado en diferentes áreas de trabajo: social, ingeniería, educación, ambiente, economía, transporte, recursos, etc.

Dicho método fue elegido ya que no hace falta información cuantitativa de cada alternativa en cada uno de los criterios considerados, sino tan solo los juicios de valor. Cabe resaltar que no se busca evaluar el método ni discutir sus beneficios o falencias.

La metodología se aplicará en 6 escenarios diferentes, bajo un mismo enfoque técnico. Posteriormente, en 2 de los escenarios ya evaluados, se realizará la evaluación por opinión de panel de expertos.

El documento se divide en 7 capítulos, que pueden agruparse en tres partes:

- La primera corresponde a la introducción del trabajo propiamente dicha y el marco teórico (capítulos 1 y 2). En el primer capítulo se presentan las definiciones del concepto "saneamiento" y los diferentes tipos aplicados. Particularmente se desarrollan los sistemas separativos convencionales y

alternativos y su aplicación. En el capítulo 2 se describen generalidades del análisis múlticriterio, ampliando en más detalle el Método AHP seleccionado para aplicar en el presente trabajo.

- La segunda parte se compone de los capítulos 3, 4, 5 y 6. En el capítulo 3 se presentan los criterios seleccionados con los cuales se realizará la comparación de alternativas mediante el método multicriterio. En el capítulo 4, se describen los escenarios donde se propone realizar la comparación de alternativas. En el capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos para cada escenario de aplicación bajo enfoque técnico de Saaty (1982), mientras que en el capítulo 6 se presentan los resultados obtenidos para los escenarios evaluados por el panel de expertos.
- Finalmente, en el capítulo 7 se presentan las conclusiones y líneas de trabajo posteriores.

Como conclusión principal se tiene que, cuando los criterios técnicos o ambientales son prioritarios, los sistemas convencionales son los más aptos a aplicar. Por su parte, cuando los criterios sociales son prioridad y hay restricción de costos, el sistema de efluentes decantados es el seleccionado. En cuanto al sistema condominial, este es seleccionado cuando los costos constituyen el criterio prioritario.

## **2. SISTEMAS DE SANEAMIENTO**

### **2.1. Introducción**

El hombre desde la época Neolítica ha hecho uso del agua para fines agrícolas, para aumentar la cantidad de alimentos, mediante sistemas de canales y presas.

Ya entre los años 3200 y 1100 AC se tienen registros de sistemas de abastecimiento y recolección de aguas en Egipto, Creta, Mesopotamia y Valle del Indo (Angelakis & Rose, 2014).

En cuanto a occidente, Grecia y posteriormente Roma, desarrollaron tecnologías a mayor escala, aplicadas en sus grandes urbes, las cuales sirvieron de infraestructura para evacuación de excretas por más de 1000 años (Chiotis & Chiotis, 2014).

El crecimiento poblacional en la Edad Media, que llevó al crecimiento de las ciudades no fue acompañado por el desarrollo de tecnología para la evacuación de las aguas servidas. Fue en este período que se vivieron varias epidemias, que continuaron por más de 500 años hasta la Revolución Industrial.

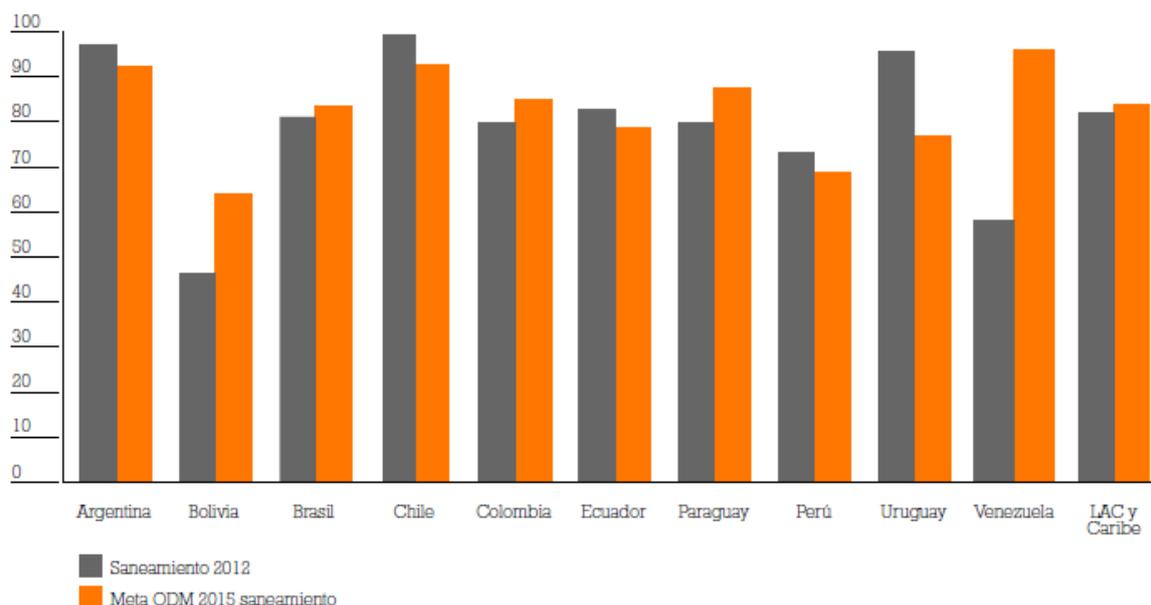
Aunque los servicios de saneamiento tienen menos prioridad que el abastecimiento de agua, ya que las personas presentan más urgencia por este último, las obras de saneamiento son una consecuencia del abastecimiento de agua. El uso de agua genera efluentes que tienen que evacuarse de forma rápida, adecuada y segura. De no realizar una correcta gestión de las aguas servidas éstas son conducidas crudas a los cuerpos de agua, a través de las calles o canales, o se infiltran al terreno, transformándose en una fuente de contaminación con fuerte afectación para la salud humana.

Fue en el siglo XIX cuando se comenzó a considerar la evacuación de las aguas servidas como un servicio básico en las ciudades, siendo los primeros casos París, Hamburgo y Memphis.

En América Latina, la ciudad de Montevideo fue la primera en contar con una red de alcantarillado. El sistema de conducción, llamado Red de Arteaga, fue ejecutado durante la segunda mitad del siglo XIX; más precisamente las obras comenzaron en 1856.

En la actualidad, aunque el servicio de abastecimiento de agua en la mayoría de las ciudades ha alcanzado niveles que han hecho posible cumplir los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas (ODM), se observa una gran deficiencia en cuanto a la cobertura de saneamiento (Arroyo et al., 2015). Ver Gráfico 2-1.

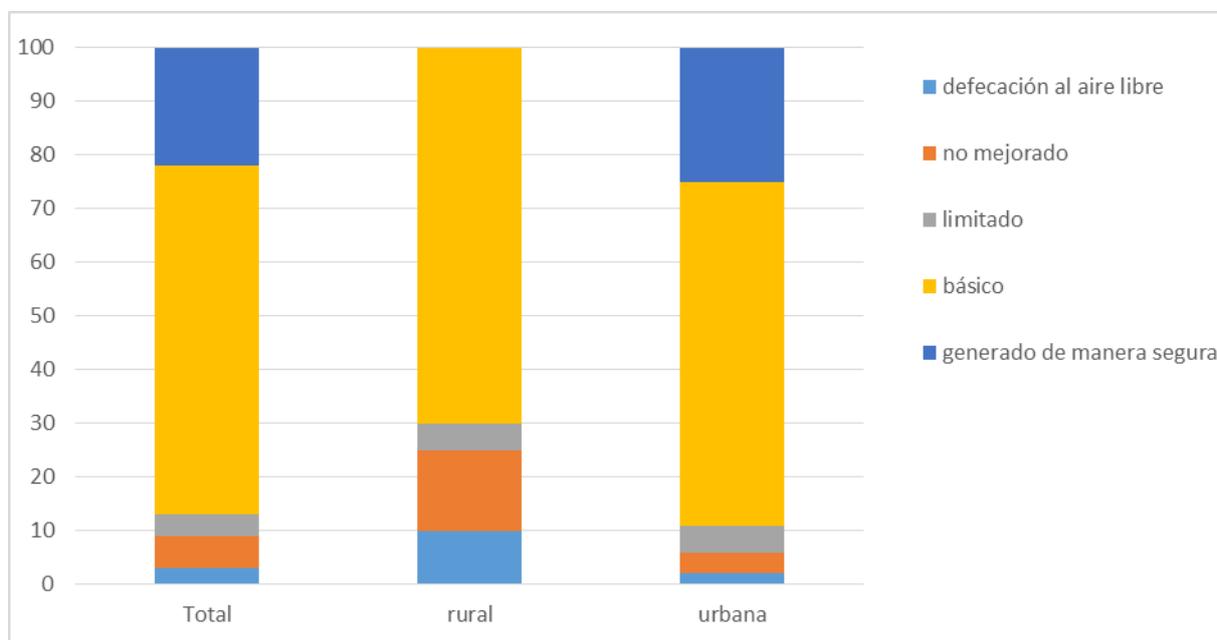
**Gráfico 2-1 Cobertura de acceso a saneamiento 2012 y avance hacia el cumplimiento de meta ODM 2015, por países (porcentaje).**



Fuente: Arroyo et al. (2015).

En el Gráfico 2-2 a continuación se presentan datos del acceso a saneamiento actualizados al año 2015 (WWAP, 2019).

**Gráfico 2-2 cobertura de acceso a saneamiento 2015**



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de WWAP (2019).

El Gráfico 2-2 indica que en medio rural no se tiene manejo seguro del saneamiento y que un 70 % de la población tiene un servicio básico, mientras que en medio

urbano un 25 % de la población presenta un manejo seguro y 64 % básico. En el total, un 13 % presenta un servicio limitado o peor.

Según datos presentados en el Foro Mundial del Agua 2015, en América Latina menos del 30 % del agua residual generada en los domicilios recibe algún tipo de tratamiento, antes de ser descargada nuevamente en el ambiente (Arroyo et al, 2015).

Desde la 2da (La Haya 2000) a la 6ta Edición (Marsella 2012) del Foro Mundial del Agua se ha tenido en consideración la necesidad de desarrollarse tanto en cobertura como calidad de los servicios de agua potable y saneamiento para los países latinoamericanos, con el mayor reto en avanzar en el tratamiento de aguas residuales (Arroyo et al, 2015).

Datos más recientes indican que a pesar del contexto económico desfavorable se continuó aumentando las coberturas de acceso a saneamiento en la región. La inversión privada aumentó, mientras la inversión pública disminuyó, principalmente en proyectos de tratamiento de aguas residuales.

Esta inversión incrementó los índices de cobertura de acceso a los sistemas de saneamiento. Según cada país, se alcanza de entre el 50 % y el 99 % de la población con acceso a instalaciones sanitarias mejoradas (CAF, 2018).

De todas maneras, se tiene conocimiento que estos índices globales no reflejan las grandes disparidades dentro de cada país en cuanto al servicio de saneamiento, entre zonas rurales y urbanas, particularmente en los países más pobres. En muchas ciudades latinoamericanas se ven modificadas por el crecimiento informal de las zonas periféricas, donde los servicios de saneamiento son deficientes o nulos, lo que se traduce en una mayor incidencia de enfermedades de transmisión hídrica, así como una importante fuente de contaminación de cursos de agua superficiales.

## **2.2. ¿Por qué Saneamiento?**

Uno de los principales objetivos, sino el principal, para la ejecución de sistemas de saneamiento es la protección de salud de la población. Las aguas servidas contienen patógenos y la gestión correcta de éstas disminuye de manera considerable el riesgo de infecciones. Además del contenido patógeno, la presencia de vectores (moscas, mosquitos) también son un foco de infección al tener contacto con las heces y convertirse luego en transmisores de enfermedades a las personas.

La ejecución de los sistemas de saneamiento debe ser acompañada por una mejora también en los sistemas de abastecimiento, así como también una fuerte capacitación a la población para el uso de los servicios.

Inclusive, por más que se realicen mejoras en los servicios de saneamiento, todavía existen situaciones de contaminación, como la existencia de fosas sépticas o depósitos fijos permeables o con alivios en zonas urbanas o nuevos desarrollos urbanos, que contaminan las fuentes de agua subterránea que se utilizan para el

suministro de agua potable (IANAS, 2015). En la Fotografía 2-1 se puede observar la situación descripta.

Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) acordados en el año 2000 pretendían reducir a la mitad, entre 1990 y 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible a agua potable segura (ONU, 2000).

### **Fotografía 2-1 Asentamiento Irregular sin servicio de saneamiento**



Fuente: Foto Marcelo Bonjour, Urwicz (2016)

En 2015, la Asamblea General de la ONU presenta “*Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*”, con los 17 objetivos para el Desarrollo Sostenible donde se incluye el Objetivo 6 “*Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos*”. En su inciso 6.2 establece “*De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad*” (ONU, 2015).

Según estudios realizados por ONU, en el año 2015, 4.900 millones de personas utilizaba instalaciones de saneamiento mejoradas (ONU, 2017).

En América Latina y Caribe en las últimas décadas ha mejorado el acceso al agua potable, así como el tratamiento de aguas residuales. El aumento y mejora de servicio de saneamiento ha permitido cumplir los ODM de las Naciones Unidas en cuanto a fuentes mejoradas de agua potable, y es importante destacar que América Latina y el Caribe cuentan con la mayor cobertura de agua potable de países en desarrollo (Lentini, 2015).

### **2.3. Tipos de Sistemas de Saneamiento**

El saneamiento se puede definir como el proceso que gestiona las aguas residuales (domésticas y/o no domésticas) desde su generación hasta su disposición final.

Durante dicho proceso se aplica una serie de tecnologías y servicios específicos para el manejo de estos desechos, llamados Grupos Funcionales.

Los Grupos Funcionales se pueden dividir de acuerdo con la fase dentro del proceso (Tilley et al, 2014):

- Recolección y almacenamiento domiciliarios. Incluye tipo de baño e inodoro, dependiendo del acceso a agua que tenga el usuario.
- Transporte. Se refiere al transporte de un grupo a otro.
- Tratamiento. Considera las tecnologías de tratamiento apropiadas para grupos poblacionales o localidades.
- Uso y disposición. Métodos por los cuales los desechos, ya adecuados, son devueltos al ambiente.

En un sistema de saneamiento se cuenta con productos (desechos) que se transportan a través de “Grupos Funcionales” conformados por tecnologías particulares y aplicables a cada caso (Tilley et al, 2014). El sistema de saneamiento se diseña con una lógica, seleccionando la tecnología para cada producto y para cada Grupo funcional aplicable.

Los productos o desechos son generados directamente por humanos (por ejemplo, orina y heces), otros son generados en el proceso según la tecnología (arenas, lodos, gases).

En la lógica de diseño también se debe considerar la gestión, operación y mantenimiento (O & M) necesaria para garantizar que el sistema funcione de forma correcta.

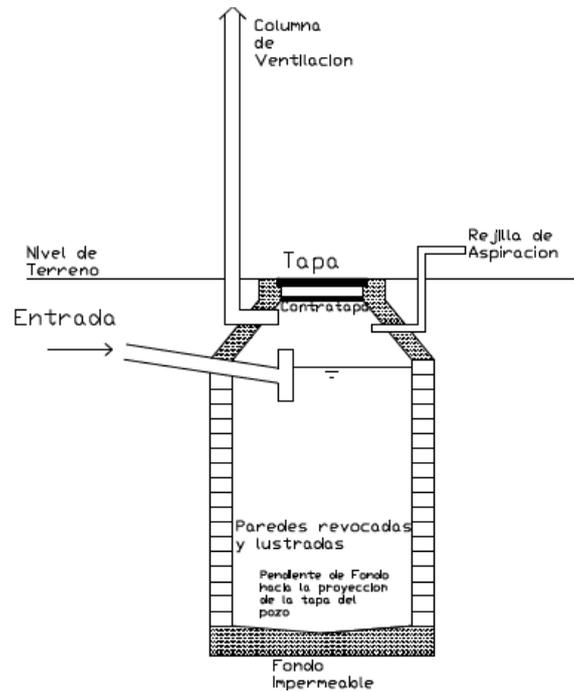
Los Grupos Funcionales de transporte como “sistemas de saneamiento”, y se pueden clasificar en dos tipos:

- Estáticos o individuales
- Dinámicos o colectivos

Los sistemas de saneamiento estáticos se refieren a aquellos donde los “grupos funcionales” son individuales en domicilio y gestionados por los usuarios generalmente. Estos pueden ser por almacenamiento de los efluentes domésticos en depósitos impermeables con posterior retiro de los mismos por camiones barométricos; o en almacenamiento temporal de los líquidos y desechos en pozos permeables con posterior infiltración en terreno (Tilley et al, 2014). En la Figura 2-1 y Figura 2-2 se muestra ejemplo de depósito impermeable y permeable.

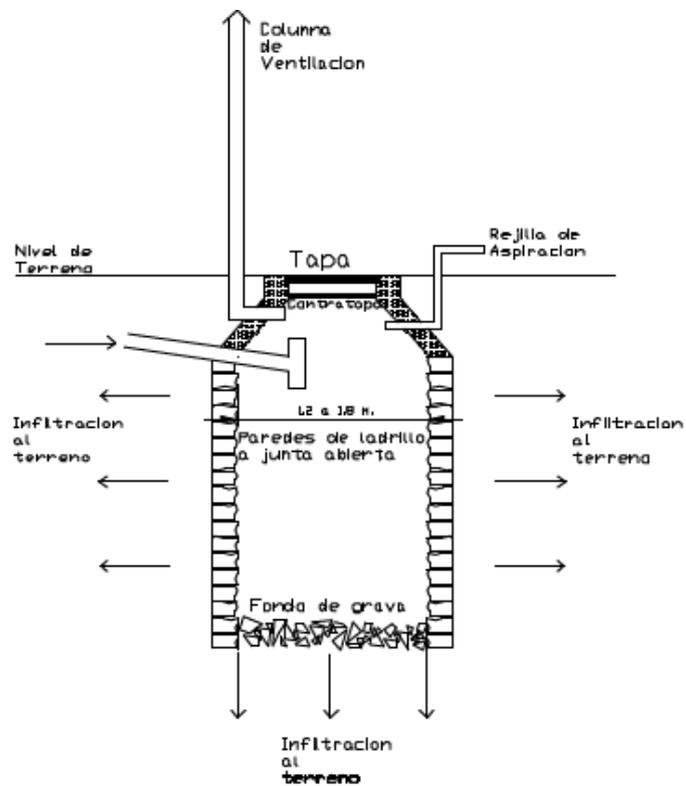
Los sistemas de saneamiento dinámico o colectivos recolectan los líquidos residuales de varias unidades habitacionales, y los conducen hacia uno o varios puntos de tratamiento y disposición. Los “Grupos funcionales” son colectivos, y ubicados en diferentes puntos del sistema.

**Figura 2-1 Depósito impermeable**



Fuente: DIA-IMFIA (2016).

**Figura 2-2 Almacenamiento temporal de los líquidos y desechos en pozos permeables con infiltración en terreno**



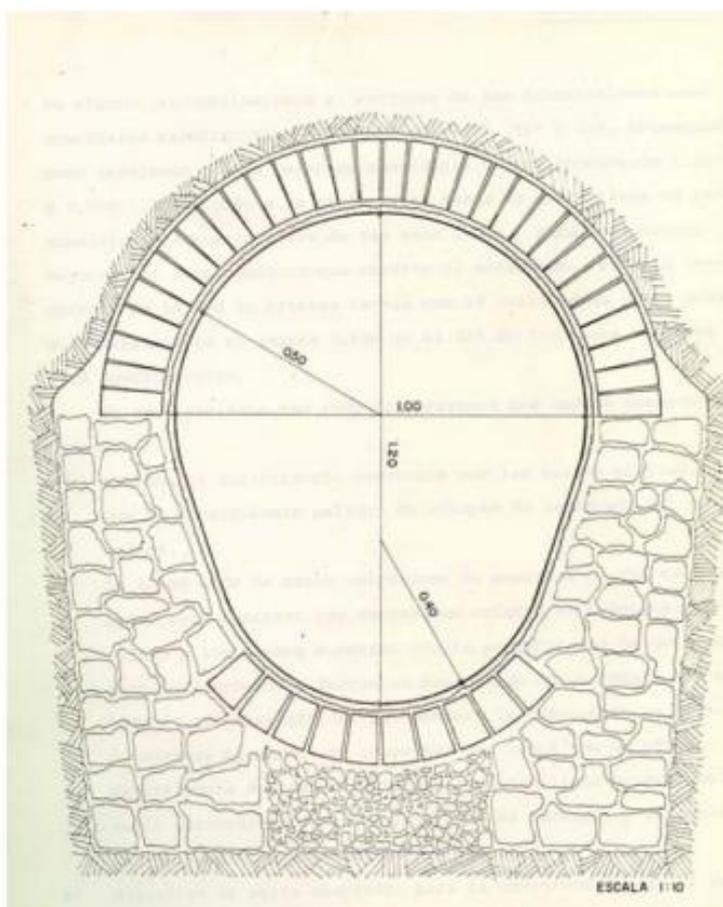
Fuente: DIA-IMFIA (2016).

Cabe resaltar que este trabajo se refiere sólo a aguas domésticas, por lo que no se habla de aguas pluviales o industriales.

Con el fin de simplificar, en el marco de este trabajo, se referirá al término “Saneamiento” como los sistemas de saneamiento dinámico. Estos se clasifican según el tipo de líquido conducido.

Los sistemas de saneamiento más antiguos considerados como servicios son llamados Combinados (posteriormente designados unitarios), y fueron desarrollados en París en 1833, aunque ya existían desde mucho antes (Azevedo Netto, 1992). En estos sistemas son conducidos en un mismo conducto los efluentes domésticos (e industriales si existen) junto con el agua de lluvia. En la Figura 2-3 se muestra diseño de colector Ovoide del sistema de alcantarillado de la ciudad de Montevideo.

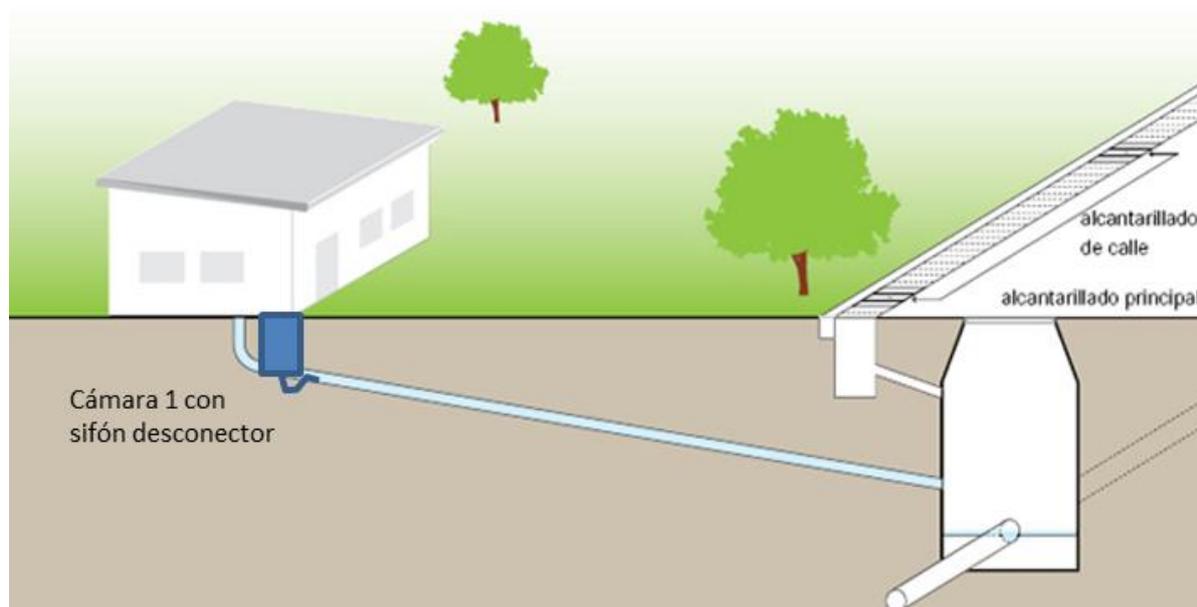
**Figura 2-3 Sección de un colector ovoide de la Red Arteaga, Montevideo (1898).**



Fuente: IM (2019).

Posteriormente se desarrollaron sistemas “parcialmente” separativos, donde el agua de lluvia recolectada dentro de los hogares es descargada junto con los efluentes domésticos, pero el agua de lluvia sobre calles y espacios públicos es conducida por otro sistema independiente. Este sistema se aplicó en ciudades de Reino Unido a mediados de siglo XIX.

**Figura 2-4 Sistema de Saneamiento Unitario**



Fuente: Adaptación de Tilley et al (2014).

Por último, se tiene a los sistemas separativos, donde el agua de lluvia y los efluentes domésticos son conducidos por sistemas completamente separados e independientes. Este sistema fue creado por George Waring Jr. en EUA en 1879, siendo publicadas las primeras instrucciones de ejecución en 1898 por A. Prescott Folwell (Azevedo Netto, 1992). Actualmente este sistema es conocido como sistema de saneamiento separativo convencional.

#### **2.4. Saneamiento en Uruguay**

En el año 1856 se construye la red de alcantarillado de Montevideo, donde habitaba aproximadamente el 25 % de la población Nacional. En la Fotografía 2-2 se muestra la Red de Arteaga (Montevideo).

En 1952, por la promulgación de la Ley N° 11.907, se crea la Administración de Obras Sanitarias del Estado (OSE), con cometido principal, entre otros, la prestación de los servicios de alcantarillado (excepto en Montevideo). El artículo 3 de dicha Ley determina:

*"La prestación del servicio y los cometidos del organismo deberán hacerse con una orientación fundamentalmente higiénica, anteponiéndose las razones de orden social a las de orden económico".*

En 2005, poco más de 50 años después de su creación, OSE elabora un Plan de Saneamiento para 75 localidades del interior del país, con horizonte 2030. En este plan no se prevé la implementación de nuevos servicios de alcantarillado en

poblaciones menores a 1.000 habitantes, ni la ampliación de redes existentes en zonas con densidades que no justifican el servicio.

### **Fotografía 2-2 Red de Arteaga, Montevideo.**



Fuente: Contreras (2013)

Actualmente OSE cuenta con más de 329.000 conexiones, 3.500 km de colectores y 50 sistemas de saneamiento dinámico, de los cuales más del 90 % cuenta con algún tipo de tratamiento previo a la disposición final (OSE, 2019).

El sistema de saneamiento en las localidades del interior es de tipo separativo, con una cobertura variable entre los distintos sistemas.

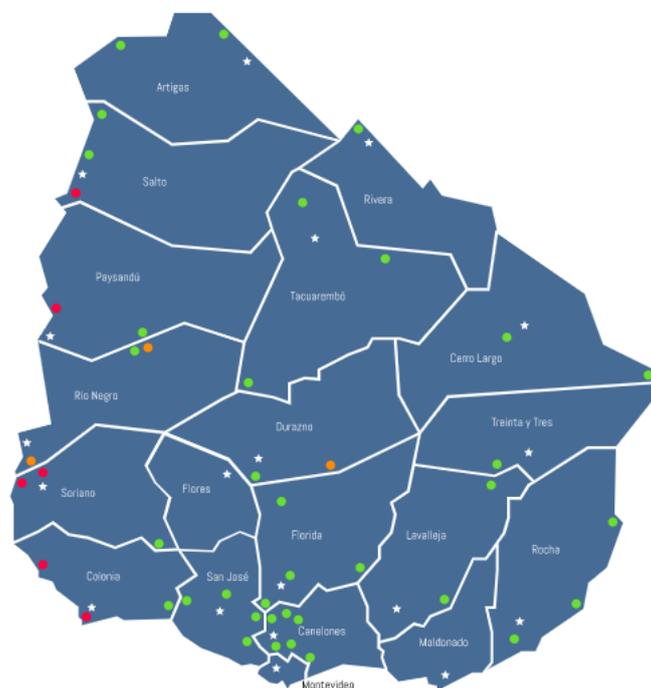
Según información de OSE, 45 % de la población nucleada tiene acceso al servicio de saneamiento. De las dieciocho capitales departamentales (no se considera Montevideo), solo cinco no superan el 60 % de cobertura de saneamiento (OSE, 2019).

En la se muestran todos los sistemas de saneamiento en el interior (OSE, 2019).

Por su parte, el sistema de alcantarillado de Montevideo se encuentra bajo la órbita de la Intendencia de Montevideo (IM) desde 1917. En la primera mitad del Siglo XX se tuvo la implementación del Plan Maggiolo, y posteriormente se tuvo un desarrollo de la cobertura con la aplicación de sistema separativo convencional.

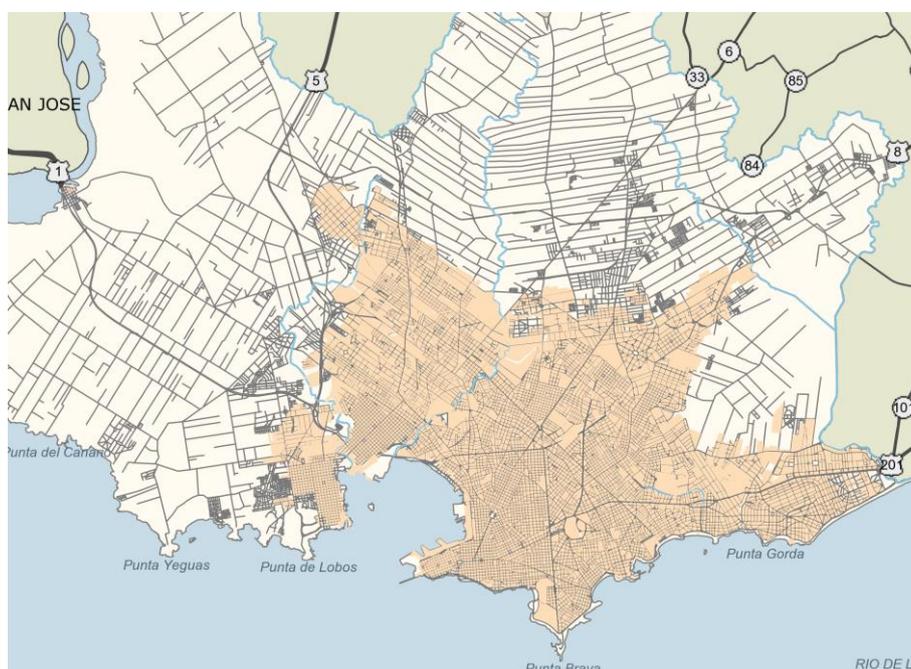
En la década del '80 se comenzó con el Plan de Saneamiento Urbano (PSU) que actualmente está en la etapa IV, con un 85 % de cobertura. Para el año 2022 se tiene proyectado alcanzar el 100 % de cobertura de la población, mediante los Planes de Saneamiento Urbano V y VI (IM, 2019). En la Figura 2-6 se muestra la cobertura de saneamiento de la ciudad de Montevideo.

**Figura 2-5 Sistemas de Saneamiento en el Interior del Uruguay. OSE.**



Fuente: <http://www.ose.com.uy>

**Figura 2-6 Cobertura de saneamiento en la Ciudad de Montevideo**



Fuente: <http://www.montevideo.gub.uy>

Otro sistema de saneamiento a considerar en Uruguay corresponde a los construidos en los Complejos de viviendas MEVIR. Inicialmente en dichos emprendimientos también se implementaba la tecnología de efluentes decantados con fosa séptica domiciliar (MEVIR - Gross, 2001). Actualmente, la operación de los sistemas MEVIR está siendo trasladada a la órbita de la OSE. Por esto último, a

excepción de ampliaciones de sistemas antiguos, los sistemas de saneamiento de MEVIR se realizan bajo las premisas de sistemas de saneamiento convencional (Marrero, 2019; Viapiana, 2019).

En Uruguay existen diversos organismos públicos que trabajan en materia de saneamiento, y esta misma diversidad hace que cada uno maneje el concepto y lo que éste abarca de manera diferente (López, 2015):

- El INE de Uruguay define *saneamiento adecuado* a las soluciones de alcantarillado, depósito impermeable y fosa séptica.
- OSE considera únicamente las soluciones de alcantarillado, donde ésta a su vez tiene injerencia.
- Los Gobiernos Departamentales reconocen los sistemas de alcantarillado y depósito fijo impermeable como soluciones válidas a nivel urbano, y admiten soluciones de depósitos filtrantes o sistemas de fosa con infiltración posterior según la zona de aplicabilidad.

Desde 2004 a la fecha se ha puesto esfuerzo en trabajar en conjunto por parte de los diferentes actores y autoridades responsables de brindar el servicio en territorio nacional con el objetivo de lograr la universalidad del acceso a los servicios de saneamiento.

La Constitución de la República Oriental de Uruguay vigente (2004) establece en su artículo 47 que:

*“El acceso al agua potable y el acceso al saneamiento, constituyen derechos humanos fundamentales, que en todo el territorio uruguayo el acceso al agua potable y el acceso al saneamiento constituyen derechos humanos fundamentales”.*

Posteriormente en el inciso 3:

*“El servicio público de saneamiento y el servicio público de abastecimiento de agua para el consumo humano serán prestados exclusiva y directamente por personas jurídicas estatales”.*

La Ley N°18.610 de Política Nacional de Aguas (2009) define que: *“El saneamiento comprende el alcantarillado sanitario u otros sistemas para la evacuación, tratamiento o disposición de las aguas Servidas”.*

En el Decreto N°78/010 reglamentario (2010) se define que: *“El saneamiento comprenderá los siguientes sistemas:*

- a) Red de alcantarillado con planta de tratamiento y/o emisario.
- b) Depósitos impermeables con limpieza mediante barométrica (que vierta a planta de tratamiento)
- c) Red de efluentes decantados con sistema de lagunas
- d) Depósitos filtrantes u otra solución de infiltración al terreno
- e) Sistemas mixtos que resultan de la combinación de componentes de los sistemas anteriores.”

En Uruguay se tiene una cobertura de saneamiento de 94 % de los hogares, con 59 % por red de alcantarillado (sistemas dinámicos) (MVOTMA, 2017). Ver Figura 2-7. El resto de la población servida es por depósitos fijos (sistemas estáticos). La realidad del servicio presenta una gran diferencia entre Montevideo y el resto del país. En Montevideo un 85 % de los hogares cuenta con red de alcantarillado (siendo un 60 % de esta cobertura brindada por saneamiento unitario).

En el interior del país un 41 % de los hogares tiene acceso al servicio de saneamiento a través de redes de alcantarillado y 57 % utiliza saneamiento estático (INE, 2012).

En Resolución del Directorio de OSE R/D 618/08 se propone alcanzar el 60 % de cobertura por redes en las localidades que ya cuentan con algún servicio de saneamiento y continuar con el aumento sostenido de cobertura en las localidades que ya superaron el 60 % (Paez et al, 2015).

De acuerdo con último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística en 2011, el 60 % del total de hogares relevados del país están conectados al servicio alcantarillado (INE, 2012). De este porcentaje, el 86 % de hogares de Montevideo relevados está conectado a la red de saneamiento, mientras que en el resto del país este porcentaje es de 45 %. Otro dato relevado indica que un 36 % de los hogares urbanos del país utilizan sistemas individuales estáticos.

**Figura 2-7 Cobertura de Alcantarillado en Uruguay por Departamento**



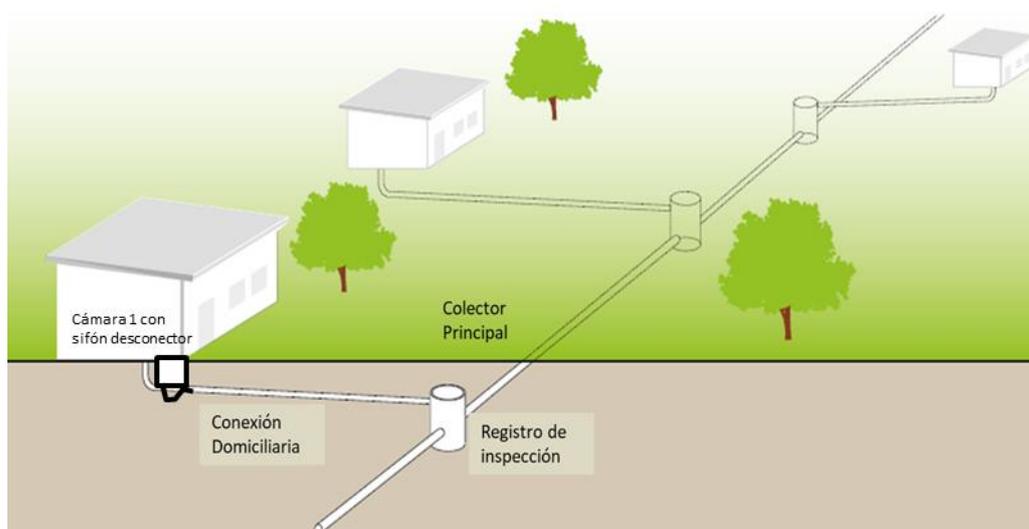
Fuente: MVOTMA (2017).

## 2.5. Sistema de Saneamiento Separativo Convencional

### 2.5.1. Descripción General

El sistema de saneamiento separativo convencional es el sistema más utilizado para la recolección y transporte de líquidos residuales domésticos. Está compuesto en todos sus casos por colectores que funcionan en flujo por gravedad, con una pendiente tal que favorece esa condición, ubicadas sobre eje de calles o veredas preferentemente. Otros elementos que lo componen son las conexiones domésticas y los registros de inspección o cámaras de inspección (OPS-CEPIS, 2005). Ver Figura 2-8.

**Figura 2-8** Esquema de una red de alcantarillado convencional.



Fuente: Adaptación de Tilley et al (2014).

Los primeros sistemas fueron construidos en hormigón y mampostería. Posteriormente, con el desarrollo de los materiales sintéticos se optó por éstos (PVC, PEAD, PRFV).

Las conexiones transportan los líquidos desde las viviendas (u otro punto de generación) hacia el colector público más cercano.

Los registros de inspección se ubican al comienzo de cada colector, en los cambios de dirección o en intersecciones y cada una longitud acotada como máxima entre dos puntos de inspección, con el fin de facilitar la limpieza y mantenimiento de las redes y evitar que se obstruyan debido a una acumulación excesiva de sedimentos.

### 2.5.2. Criterios de Diseño

En los primeros tiempos, el criterio de diseño principal era de "velocidad mínima" a sección llena o considerando 50 % de la misma. Luego con el avance en los

métodos de cálculo, este criterio se dejó de lado y se pasó a utilizar el criterio de autolimpieza.

Actualmente los criterios de diseño se basan en:

- + Diámetro mínimo.
- + Pendiente o velocidad mínima para autolimpieza.
- + Tapada mínima.
- + Velocidad máxima.
- + Relación tirante diámetro.

En la Tabla 2-1 se presentan las recomendaciones para cada criterio en diferentes normativas y reglamentos analizadas, los cuales se resumen a continuación:

- + Diámetro mínimo 200 mm.
- + Pendiente mínima 0,45 % para 200 mm o tensión tractiva mayor a  $1,5 \text{ N/m}^2$ .
- + velocidad mínima 0,3 a 0,6 m/s. Para el caso de México se tiene una velocidad mínima de 0,3 m/s con un caudal mínimo de 1 L/s.
- + Tapada mínima 0,9 a 1,2 m.
- + Velocidad máxima 3 a 5 m/s. La normativa de la ciudad de Medellín acepta un máximo de 10 m/s para tubos plásticos. De todas maneras requiere estudio hidráulico y erosión para velocidades mayores a 4 m/s.
- + Relación tirante diámetro 70 a 80 %
- + Distancia mínima entre puntos de inspección 100 a 125 m para colectores menores a 600 mm, excepto para la Normativa de Madrid.

Los criterios de diámetro mínimo, pendiente mínima para autolimpieza y velocidad máxima son los presentes en todas las fuentes revisadas. Los otros criterios podemos decir que son dependientes de estos anteriores.

Aunque se observan algunas diferencias entre los valores presentados, se puede concluir que los criterios de diseño hidráulico para las diferentes normas y reglamentos son muy similares en todos los casos.

**Tabla 2-1 resumen de criterios de diseño de redes separativas**

Lugar	Uruguay	Alberta, Canadá	EUA	Madrid, España	Montevideo, Uruguay	Medellín, Colombia	México	Brasil	Argentina
Norma	Reglamento 689	Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems	Collection Systems Technology Fact Sheet Sewers, Conventional Gravity	Normas para redes de saneamiento	Guía para presentación de Proyectos	Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado	Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento	NBR 9649 Projeto de redes colectoras de esgoto sanitario	Normas de Estudio, Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales
Institución	OSE	AESRD	USEPA	Canal de Isabel II	IM – SEPS	Empresas Públicas de Medellín ESP	CONAGUA	ABNT	ENOHSA
Año	2000	2013a	2002	2016	2018	2013	2009	1986	1995
Criterio									
Diámetro mínimo (mm)	200	200 (150 si se demuestra que es admisible)	200	250	200	180	200 (150 casos especiales)	100	100
Pendiente mínima (%)	0,45; 0,80 para tramos iniciales	0,4 (200 mm)	0,42 (200 mm)	1,0	0,45 (1,5 L/s - 200 mm)	tensión tractiva 1,5 N/m <sup>2</sup>	0,45	tensión tractiva 1,0 Pa	0,4 / tensión tractiva 0,1 kg/cm <sup>2</sup>
Velocidad mínima (m/s)	-	0,6	-	0,6	-	0,45	0,3	-	0,6
Tapada mínima (m)	0,90	-	-	1,0	1,2	1,2	-	0,9	0,9
Velocidad máxima (m/s)	5,0	3,0	3,0	3,0	5,0	5 (hormigón), 10 (plásticos)	5,0	5,0	-
Pendiente máxima (%)	-	-	-	4,0	-	-	-	-	-

Lugar	Uruguay	Alberta, Canadá	EUA	Madrid, España	Montevideo, Uruguay	Medellín, Colombia	México	Brasil	Argentina
Norma	Reglamento 689	Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems	Collection Systems Technology Fact Sheet Sewers, Conventional Gravity	Normas para redes de saneamiento	Guía para presentación de Proyectos	Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado	Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento	NBR 9649 Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário	Normas de Estudio, Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales
Institución	OSE	AESRD	USEPA	Canal de Isabel II	IM – SEPS	Empresas Públicas de Medellín ESP	CONAGUA	ABNT	ENOHSA
Relación tirante/diámetro o máxima (%)	-	80	-	75	75	70 (menos de 500 mm)	-	75	94 para fin de proyecto, 80 para 10 años
Distancia entre puntos de inspección máxima (m)	100	120 (para menos de 400 mm); 150	120 (para menos de 400 mm); 150	50 (menos de 1000 mm); 100 (1000 a 1500 mm)	120	120	125 (200 a 600 mm)	-	Depende de método de desobstrucción

Elaboración propia. Fuentes Normativas varias.

### 2.5.3. Ventajas y desventajas preliminares

- + Dada la amplia experiencia en el uso de este tipo de sistemas de saneamiento, los procedimientos de diseño son bien conocidos, y cuando éstos son correctamente aplicados y ejecutados los resultados son muy buenos. Si se aplican los criterios adecuados de velocidad y pendiente, se pueden manejar efluentes con alto contenido de sólidos, y a su vez, se reduce la producción de gases (ácido sulfhídrico y metano) (USEPA, 2002).
- + Aunque no son sistemas aptos para conducir grandes volúmenes de agua (en conjunto aguas negras y lluvias), se tiene una capacidad ociosa que permite la conducción de intrusión pluvial clandestina.
- + Son sistemas seguros en cuanto a salud e higiene de la población, pero se tiene un impacto en el/los punto/s de disposición final. De todas maneras, si no se realiza el mínimo mantenimiento de limpieza la vida útil de los sistemas se reduce sustancialmente.

#### Fotografía 2-3 Apertura de zanja para colector inicial 200 mm



Fuente: Fotografía EPR.

- Por otro lado, se tiene grandes costos de inversión, con dificultad para ampliación por crecimiento de población, si no se considera en la concepción inicial del proyecto.

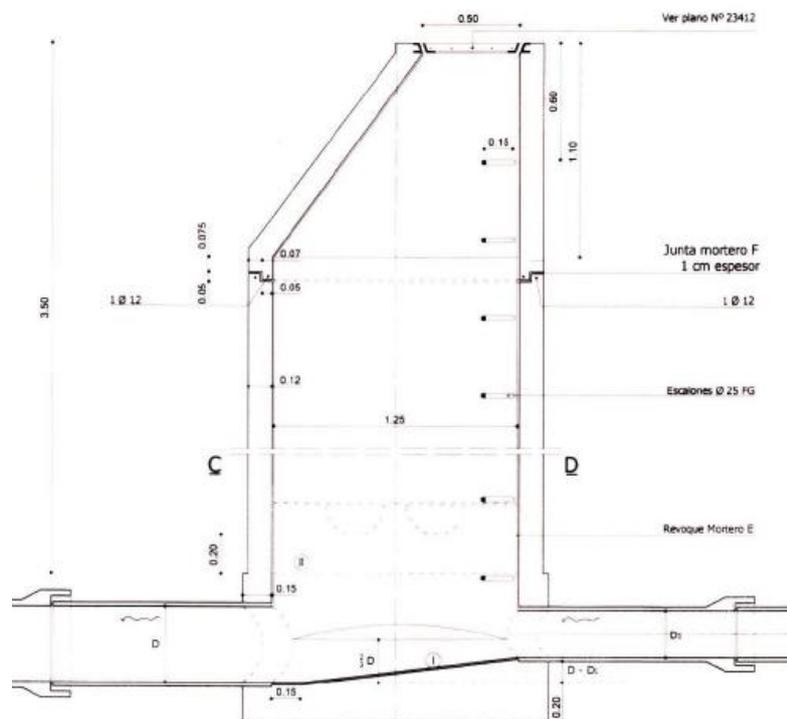
- Debido a los criterios de diseño de velocidad y pendiente mínima, en terrenos con baja pendiente, se tienen grandes profundidades de excavación (Tilley et al, 2014). En Fotografía 2-3 se observa excavación de colector inicial.
- La profundidad máxima usual es entre 2 m y 3 m, donde a mayor profundidad se requiere el uso de estación de bombeo. Este rango de profundidad máxima depende de las características del terreno (presencia de roca, napa freática) y de la topografía del área de proyecto, entre otros aspectos.
- Por las grandes profundidades, se requiere también mayor costo para la construcción de registros de inspección y pozos de bombeo, con uso de maquinaria y personal especializado (OPS-CEPIS, 2005).

Históricamente los registros se construyen en hormigón armado, con tapa con aro de acero galvanizado según. Actualmente existen alternativas en materiales plásticos, como se muestra en Fotografía 2-4, pero aún no se han implementado de manera tal que se pueda reconocer su uso como común o permitido.

**Figura 2-9 Plano Tipo Registro**

**REGISTRO DE 1ª CATEGORIA**

CORTE A - B



Fuente: <https://www.comprasestatales.gub.uy>

## Fotografía 2-4 Registros prefabricados en Polietileno



Fuente: <http://rocco.com.uy>

Es fundamental lograr que las viviendas frentistas a las redes existentes se conecten, ya que, si el nivel de conexiones es bajo, el sistema de colectores operará en forma deficiente al no poderse garantizar las condiciones de autolimpieza (López, 2015). Apuntando a esto entre otros objetivos, en Uruguay se sancionó una ley para obligar a la conexión por parte de la población (Ley N° 18.840, 2014).

La construcción del sistema abarca hasta la cámara en vereda, inclusive en algunos casos hasta cámara 1. De todas maneras, esto no es garantía de que la población se conecte. Aunque la ley obliga al ciudadano a conectarse, los porcentajes de conexión de los sistemas convencionales son bajos, excepto cuando se realizan acompañado de un Plan de Conexiones. La conexión se materializa con tubería de 110 mm y empalme a colector público.

### 2.6. Sistema de Saneamiento Separativo Alternativos

Los sistemas de saneamiento fueron desarrollados a partir de mediados de siglo XIX. Se puede decir que en más de 100 años de uso de la tecnología se han introducido cambios en uso de nuevos materiales o procedimientos constructivos, pero los cambios han sido mínimos en cuanto a criterios de diseño, sobre todo si se compara con otras ramas de la ingeniería sanitaria (potabilización, abastecimiento de agua potable, tratamiento de efluentes, etc.).

En la segunda mitad del siglo XX se observó que el alto costo de saneamiento convencional estaba restringiendo el uso de la tecnología en las regiones en desarrollo. En San Pablo Brasil, desde 1970 a 1990 la cobertura de saneamiento había descendido de 70 % a 50 %, y como no se podía impedir el crecimiento de la

población y las ciudades, se tuvo que recurrir a implementar nuevas soluciones de saneamiento a un costo accesible de ejecución y mantenimiento (Azevedo Netto, 1992).

De acuerdo a la experiencia adoptada en diferentes lugares, se concluía que varios criterios de diseño debían ser actualizados, ya que no tenían un soporte técnico. Esta revisión podía mejorar y modernizar el diseño de los sistemas de saneamiento, y a su vez, reducir los costos de ejecución de las obras.

### **2.6.1. Revisión de criterios de Diseño**

El primero de los criterios de diseño revisado fue el de “velocidad mínima”, sustituido por “autolimpieza”. Mediante este criterio, además, se tiene un control teórico de la erosión, sedimentación y producción de gases en el sistema.

Se estudió la posibilidad de reducir las profundidades a lo mínimo admisible, permitiendo la conexión de los usuarios y a su vez la protección de las tuberías. Esto fue acompañado con un desarrollo en la tecnología y tipos de materiales utilizados.

Junto con lo anterior, también se consideró la reducción de diámetros mínimos, sobre todo para los tramos secundarios (iniciales), donde los caudales medios son bajos y no se tiene la simultaneidad de uso de artefactos sanitarios en los usuarios para que se dé la autolimpieza necesaria en la tubería. De esta manera, se aumenta la velocidad de flujo a menores caudales. En Brasil la Norma NBR 9649 (1986) define como caudal mínimo de diseño 1,5 L/s.

Otro de los aspectos a corregir con el desarrollo de equipos de limpieza y mantenimiento de las redes, es posibilitar la reducción de la cantidad de puntos de inspección, acceso y limpieza.

Por último, se analiza el período de vida útil considerado para el sistema. Originalmente éstos se diseñaban para 50 años. Esto llevaba a que los primeros años los sistemas funcionaran muy por debajo de los valores de caudal para los que fueron diseñados, disminuyendo su rendimiento. Posteriormente se optó por diseños para no más de 20 años de uso, con construcción en fases. De esta manera, los errores de estimación de población, cobertura y caudales son minimizados y pueden ser corregidos (Azevedo Netto, 1992).

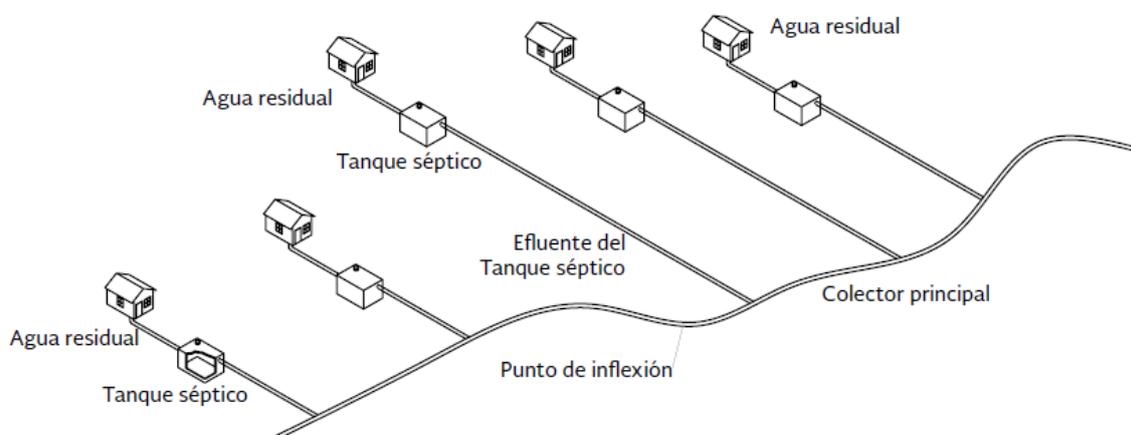
### **2.6.2. Sistema de Efluentes decantados**

#### **2.6.2.1. Descripción general**

Los sistemas de saneamiento de efluentes decantados, conocidos también internacionalmente como “sistemas de pequeño diámetro”, consisten en una combinación de tratamiento de efluentes domiciliario y un sistema colectivo de recolección y conducción de pequeños diámetros (Ver Figura 2-10). El efluente conducido presenta una baja carga de sólidos, los cuales son removidos en los sistemas individuales. Por tal condición, es que no es necesario cumplir con el

criterio de diseño de autolimpieza requerido en sistemas convencionales (Azevedo Netto, 1992).

**Figura 2-10 Esquema de una red de saneamiento de efluentes decantados**



Fuente: CONAGUA (2015).

Los primeros sistemas fueron desarrollados en Estados Unidos en la década de 1970 para dar saneamiento a pequeñas localidades en zonas con suelo de baja infiltración.

En Uruguay esta tecnología fue aplicada principalmente para los complejos MEVIR. Al año 2011 el número de sistemas MEVIR registrados era de 355, equivalente a 18.115 viviendas (López et al. 2012).

También se aplicó este sistema como solución de saneamiento por parte de OSE para barrios de la ciudad de Mercedes, Florida y Tacuarembó y para la localidad de Villa Ansina (MEVIR - Gross, 2001).

En cuanto a normativa, el Decreto 78/010 contempla el uso de esta tecnología en su Artículo N° 3 Item C. También se cuenta con un reglamento en vigencia (OSE, 1995), el cual contiene algunos criterios que la Administración considera obsoletos. En los casos de ampliaciones de sistemas con diámetros menores (110 mm, 160 mm) se permite el uso de estos diámetros, pero para el caso de nuevos sistemas los diseños se realizan basados en los Criterios técnicos establecidos por OSE y basados en criterios utilizados para diseño de sistemas convencionales (OSE, 2017).

Por otro lado, lo que se denomina tratamiento domiciliario se lleva a cabo a través de una fosa séptica, diseñada para dar servicio a una vivienda. En dicha unidad se retienen los sólidos y se puede considerar una remoción de materia orgánica.

El líquido tratado es vertido a la red de pequeño diámetro, la cual trabaja por gravedad, aunque también se permite que trabaje presurizada (gravedad forzada), ya que no hay limitaciones de pendiente.

### 2.6.2.2. Criterios de diseño

Los sistemas de efluentes decantados se diseñan para recibir la porción líquida de las aguas residuales domésticas para su disposición y tratamiento, ya que la arena, grasa y otros sólidos que podrían obstruir las tuberías, son retenidos en las fosas sépticas domiciliarias (OPS-CEPIS, 2005).

En algunas experiencias se han construido sistemas hasta de 75 mm de diámetro mínimo (Azevedo Netto, 1992). Para tramos a presión se recomiendan 100 mm mínimo (USEPA, 1986; USEPA, 2000). Aunque de acuerdo con la revisión bibliográfica los casos donde se utilizan sistemas de este tipo con conductos a presión son muy pocos.

La profundidad mínima típica cuando no se espera una carga alta por tránsito es de 60 a 75 cm (USEPA, 2000).

Las pendientes pueden ser nulas o negativas, ya que a diferencia del alcantarillado convencional por gravedad que es diseñado como canal abierto, el sistema de efluentes decantados puede ser diseñado con tramos cuya línea de gradiente hidráulico se encuentre por encima de clave de la tubería (MEVIR - Gross, 2001).

De esta manera, el flujo en de la tubería puede ser alternado con tramos trabajando como canal a cielo abierto y otros a presión. Esto último debe ser considerado durante el diseño de la red para no generar ingreso de los líquidos a las fosas domiciliarias.

Como se mencionó, el Reglamento 507/95 de OSE, aunque actualmente no es aplicado, define el diámetro mínimo en 100 mm con pendiente mínima de 0,3 % (o menor si es justificada), profundidad mínima de 90 cm y elementos singulares cada 120 m (OSE, 1995).

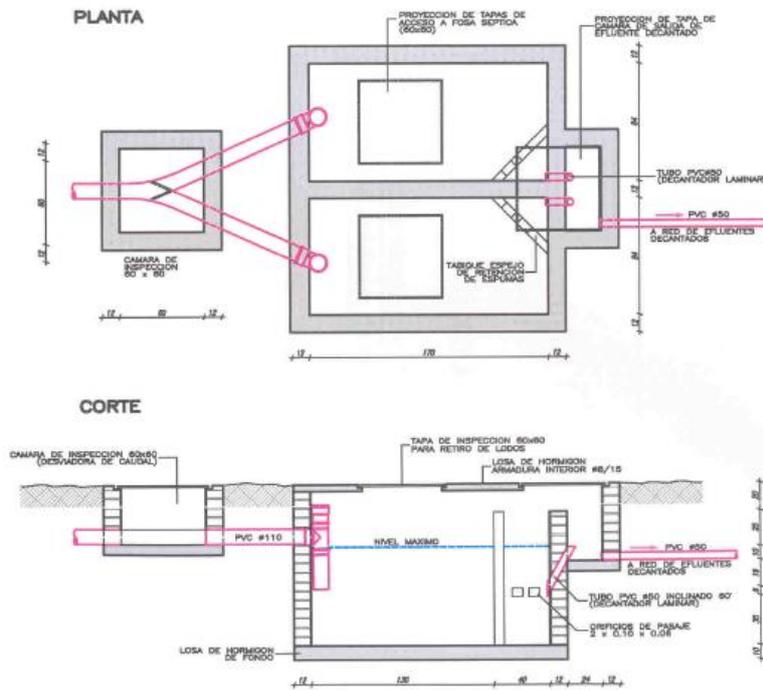
Aunque el ingreso de sólidos a las tuberías es minimizado por las fosas, en algunos casos se diseña con una velocidad mínima de flujo. En Australia se aplican velocidades de 0,45 m/s a  $y/D$  50 %, mientras que en EUA se aplican velocidades de 0,15 m/s (USEPA, 1991; CONAGUA, 2015).

La fosa séptica domiciliaria se trata de un tanque hermético, enterrado, con un ingreso y una salida con tabique para retención de flotantes. El tiempo de retención de diseño es entre 12 a 24 horas para remover tanto los sólidos flotantes como los sedimentables. También se incluye en su dimensionamiento un volumen para el almacenamiento de los sólidos sedimentados (López, 2015). La construcción puede ser in situ o prefabricada (Ver Fotografía 2-5).

El diseño propuesto por MEVIR-Gross (2001) se presenta en Figura 2-11, mientras que en el Reglamento 507/95 de OSE se exige el uso de dos fosas sépticas domiciliarias de 600 L de volumen cada una (OSE, 1995).

De todas maneras, se debe ser cuidadoso con el ingreso de sólidos porque los taponamientos son más fáciles y frecuentes (Tilley et al. 2014).

**Figura 2-11 Detalles de Fosa Séptica MEVIR**



Fuente: MEVIR - Gross (2001)

Debido al almacenamiento prolongado de los sólidos en el tanque, las bacterias realizan la degradación de los sólidos orgánicos en condiciones anaerobias, originando la reducción del volumen de lodos y generando gases fétidos.

Las fosas sépticas producen una laminación del caudal instantáneo de descarga domiciliario. Según Mara & Otis (1985) han registrado casos donde el caudal se ha visto reducido de 11 L/h a menos de 4 L/h. Esto se puede verificar considerando un caudal de ingreso a la fosa séptica de 1,5 L/s (descarga de cisterna durante 10 segundos), y un área de 0,85 m<sup>2</sup> para dicha unidad. De esta manera se tiene un aumento de nivel en la fosa de 1,8 cm, y considerando a la salida en 50 mm, el caudal de salida para dicho aumento de nivel corresponde a 0,75 L/s, por lo que se tiene una laminación de 50 %.

El Reglamento 507/95 de OSE se exige el uso de dos fosas sépticas domiciliarias de 600 L de volumen cada una (OSE, 1995).

Además de la limpieza de la fosa séptica, el mantenimiento de las redes es simple ya que no se cuenta con alto contenido de sólidos. Con sistemas de limpieza aplicando velocidades de 0,6 m/s se realiza un correcto mantenimiento de la red (USEPA, 1986).

De todas maneras, se debe ser cuidadoso con el ingreso de sólidos porque los taponamientos son más fáciles y frecuentes (Tilley et al. 2014).

## Fotografía 2-5 Fosa Séptica Domiciliar Prefabricada



Fuente: <https://www.fibra.cl>

Los efluentes decantados son sistemas que se adaptan fácilmente a pequeñas comunidades, zonas circundantes a centros urbanos o zonas con baja población, terrenos con nivel freático alto y áreas inundables, zonas con obstáculos (cruce de ríos, canales, etc.) (CONAGUA, 2015).

### 2.6.2.3. Ventajas y desventajas preliminares

- + Al no ser necesario considerar el criterio de autolimpieza, no hay restricción de caudales mínimos de diseño o velocidades mínimas (Tilley et al. 2014).
- + El sistema presenta simpleza en su construcción ya que se ejecuta con materiales conocidos y accesibles en el mercado. Los costos de excavación son reducidos ya que las tuberías pueden seguir la topografía del terreno y evitar las obstrucciones. A su vez, por lo anterior, se reducen los tamaños de las tuberías y los puntos de inspección pueden ser de menor profundidad y simpleza. Las obras civiles son de pequeño porte al tratarse de bajas profundidades, lo que se traduce, en principio, en un costo de inversión menor al de una red de saneamiento convencional (Azevedo Netto, 1992; Tilley et al. 2014).
- + La menor cantidad de puntos de inspección minimiza la intrusión pluvial e infiltración.
- + Se minimiza la profundidad de estaciones de bombeo, y en ciertos casos se pueden evitar completamente. A su vez, no es necesario uso de rejillas previo al ingreso a éstas.
- + El tratamiento primario en los domicilios realiza una remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica, por lo que en las plantas de tratamiento de efluentes no es necesario contar con tratamiento primario. A su vez, las

unidades proyectadas para tratamiento secundario pueden ser de menor tamaño que si fuera un efluente convencional (CONAGUA, 2015).

- La principal desventaja es la dependencia total de la operación del tratamiento domiciliario por los propios usuarios. Aunque no se trata de un sistema sofisticado, es necesario un control continuo de la unidad de tratamiento domiciliario, de la cual se debe realizar la extracción periódica de lodo digerido, para su correcta disposición. Es necesario, además, contar con espacio para la colocación de la fosa séptica (Tilley et al., 2014).
- El lodo extraído de la fosa séptica debe ser gestionado de acuerdo con la reglamentación vigente. La extracción de lodo es con una frecuencia mínima de 2 a 3 años, aunque hay experiencias de hasta 10 años (USEPA, 1991). Para el caso de MEVIR en Uruguay, se prevé que está operativa sea ejecutada por los propios usuarios pudiendo ser controlada por el Gobierno Departamental, considerando que los lodos están completamente estabilizados y pueden ser dispuestos directamente en suelos (MEVIR - Gross, 2001).
- Los olores es otra de las desventajas que presenta este sistema. Es necesario una correcta realización de la sanitaria interna en la vivienda con ventilación, para limitar el ingreso de olores a la misma (USEPA, 1991). Para el Uruguay la normativa para proyecto y construcción de sanitarias internas obliga a la ventilación de la instalación (Normas de sanitaria, Intendencia de Montevideo).
- Exige un control exhaustivo de conexiones clandestinas, ya que no es admisible recibir efluentes sin tratamiento primario porque afectaría el funcionamiento del sistema, o efluentes de diferentes características a efluentes domésticos típicos.
- Estos sistemas deben ser usados en donde esté garantizada la correcta operación y gestión de los sólidos generados en los domicilios.
- El uso de efluentes decantados como sistema de saneamiento dinámico, implica que cualquier ampliación que se realice se deba ejecutar bajo la misma tecnología, no aceptando otras tecnologías de saneamiento separativo aguas arriba (condominial, convencional).

#### **2.6.2.4. Uso en la actualidad**

Actualmente se cuenta con aplicación de la tecnología en Estados Unidos, Australia, Brasil y Uruguay, y en varios países de África y Asia (Bakir, 2001; Azevedo Netto, 1992; EPA, 2000; MEVIR - Gross, 2001; Ily et al 2014; Ily, 2013b; Ily & Miranda Neto, 2013).

Brasil y Senegal son los países donde se ha aplicado más esta tecnología. Particularmente en el país africano se tienen en operación más de 20 sistemas ejecutados entre el año 2000 y 2015 por parte del Gobierno senegalés y Cooperación Descentralizada del Gobierno de Francia entre otros. A partir de la

experiencia en Senegal, varios países han replicado el uso de este sistema (Burkina Faso, Camerún, Mali). Cabe resaltar que las experiencias en los países africanos no han sido satisfactorias, debido a los problemas surgidos por la mala operación de las fosas sépticas por parte de los usuarios (Ily, 2013a; Ily, 2013b).

En Uruguay el sistema de efluentes decantados fue implementado por MEVIR desde principio de los '80. Los sistemas luego de construidos pasan bajo la jurisdicción de OSE en cuanto al sistema de conducción y tratamiento, mientras que la operación de limpieza de las fosas sépticas domiciliarias es por parte de los usuarios. El sistema históricamente funcionó con éxito, pero requería un acompañamiento permanente con asistencia social por parte de MEVIR. En la práctica esto último en la actualidad no se realiza, por lo que la fase de remoción de sólidos en domicilio no se lleva a cabo y las redes reciben efluentes con un contenido de sólidos que no fueron diseñadas para conducir. Ante este escenario, desde 2014 OSE exige que el diseño de los sistemas MEVIR sean bajo los criterios de sistemas convencionales (López, 2015).

### **2.6.3. Sistema Condominial**

#### **2.6.3.1. Descripción general**

El sistema condominial fue desarrollado por primera vez en los estados del nordeste de Brasil (Rio Grande del Norte, Pernambuco) como una alternativa de menor costo al sistema convencional (Azevedo Netto, 1992; Mara et al., 2001).

La administración del sistema de saneamiento de la ciudad de Brasilia ha tomado la tecnología de saneamiento condominial desde 1995, con más de 120.000 conexiones condominiales ejecutadas en operación.

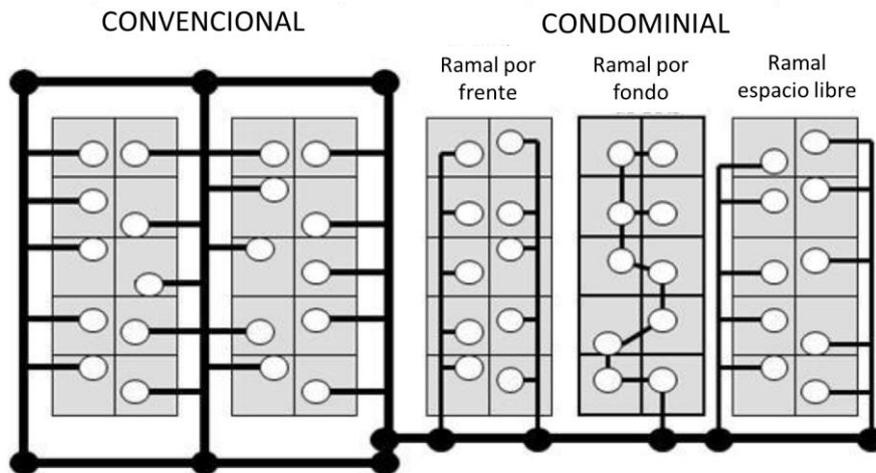
Por su parte, en Lima se ha aplicado con éxito un programa de saneamiento en base a la tecnología condominial para más de 25000 familias. También se han tenido experiencias piloto en localidades de Paraguay y Ecuador (Vargas & Lampoglia, 2006).

El sistema condominial ha sido implementado también en varios países de África (Gana, Senegal, Burquina Faso, Nigeria, Malí, Togo, Costa de Marfil, Marruecos, Egipto) y Asia (Pakistán, Indonesia, India) (Ily, 2014).

Este sistema presenta características que lo diferencian de las otras alternativas de saneamiento.

El trazado de los colectores secundarios es por el interior de los predios particulares desde las instalaciones sanitarias, acompañando la pendiente del terreno para evitar excavaciones profundas. También es usual que los colectores sean trazados por veredas u otros espacios públicos para obtener ahorros sustanciales en longitud, diámetro y profundidad (Tilley et al., 2014). Ver Figura 2-12.

**Figura 2-12 Esquema de una red de saneamiento condominial.**



Fuente: Adaptado de Mara & Evans (2011)

El trazado de los colectores secundarios tiene como fin servir a varios padrones (o predios) como una sola unidad, en lugar de servirlos de manera individual. Ver

Fotografía 2-6.

El conjunto de lotes que conforman una unidad a servir se denomina “condominio”. La tubería que atiende esta unidad se le denomina red o tubería condominial. Según la superficie disponible, el área de trazado definitivo puede ser de jurisdicción pública o privada.

**Fotografía 2-6 Red condominial, India.**



Fuente: Nema (2013)

Cada manzana es considerada como una propiedad horizontal, donde las redes condominiales son construidas dentro de las propiedades privadas previa aprobación de los propietarios.

Por lo anterior, es que la aplicación de esta alternativa de saneamiento requiere un importante trabajo comunitario para involucrar a los usuarios con los aspectos técnicos del sistema, además de brindarles educación sanitaria y ambiental.

El involucramiento del usuario en la planificación, diseño, construcción y mantenimiento del sistema favorece una disminución de los costos para implantación del sistema.

Los líquidos recolectados por las tuberías condominiales son transportadas a una red principal, la cual es diseñada bajo los criterios de una red convencional. Los accesorios de la red condominial para inspección y mantenimiento son sencillos y de bajo costo de construcción (Mara & Evans, 2011).

En cuanto a la red principal, presenta las mismas características que los sistemas convencionales.

La tecnología de saneamiento condominial es apropiada para zonas de alta densidad poblacional y donde el consumo de agua sea mayor a 60 L/hab/día (Tilley et al., 2014).

También es una tecnología aplicable en zonas donde los predios o las propias viviendas se encuentran muy cercanas, y los pasajes intermedios son muy angostos (Azevedo Netto, 1992).

En zonas con suelo rocoso o napa freática alta, el uso de esta tecnología disminuye los costos de obra comparado con un sistema convencional (Tilley et al., 2014).

### **2.6.3.2. Criterios de diseño**

Las tuberías condominiales generalmente se colocan dentro de los límites de la propiedad, en patios traseros o delanteros, en lugar de vereda o calle. Dado que no están sometidas a cargas de tráfico, se aplican tapadas desde 40 cm a 65 cm, lo que minimiza la excavación (Tilley et al., 2014).

El diseño se realiza por el criterio de autolimpieza (1 Pa), con diámetro mínimo 100 mm y gradiente de 0.5 % para un caudal pico mínimo de 1,5 L/s (Mara & Evans, 2011).

La pendiente mínima recomendada varía entre 0,5 % (Tilley et al., 2014) y 1 % (Azevedo Netto, 1992).

El sistema no es diseñado para recibir aporte pluvial, aunque en la práctica esto no es real, y aumenta el riesgo de que el sistema opere en carga y haya mayores atascamientos (Tilley et al., 2014; Lampoglia & Mendonca, 2006).

### **2.6.3.3. Ventajas y desventajas preliminares**

- + El uso de las redes condominiales disminuye la extensión de redes de diámetros mayores y reduce las profundidades de excavación. Los elementos de inspección son simples y de menor costo para la red condominial propiamente dicha. En consecuencia, hay un menor costo de inversión (Lampoglia & Mendonca, 2006).

- + Hay una clara independencia entre la red condominial y la principal, lo que favorece la sectorización y reduce los costos de operación y mantenimiento.
- + No se requiere tratamiento particular o local de los efluentes (Tilley et al., 2014).
- + Para la red condominial no se requiere cámaras de inspección del tipo de saneamiento convencional.
- + La tecnología es fácilmente aplicable para asentamientos urbanos irregulares y sin estructura, con una flexibilidad que permite la aplicación en zonas de alta densidad (Lampoglia & Mendonca, 2006).
- La operación de las redes condominiales es total responsabilidad de la comunidad usuaria. De todas maneras, se requiere el apoyo continuo de los responsables administrativos y técnicos del sistema (Vargas & Lampoglia, 2006).
- Hay mayor probabilidad de taponamientos en las redes condominiales que en sistemas convencionales (Tilley et al., 2014).
- Parte del sistema es ejecutado en predios privados y la mayoría de las tareas de mantenimiento se deben realizar en dichos predios.

#### **Fotografía 2-7 Trazado de red condominial en Brasilia**



Fuente: Ily & Miranda (2013)

**Figura 2-13 Cámaras de inspección para red condominial, Brasilia.**



Fuente: Ily & Miranda (2013)

#### **2.6.3.4. Uso en la actualidad**

La primera implementación de sistema condominial fue en las áreas de Rocas y Santos Reis, Natal, Brasil, en 1980. La experiencia se presentó en el Congreso de la Asociación Brasileira de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en 1983 (Mara et al., 2001). A partir de este hecho, se desarrolló el “Manual de saneamiento simplificado” financiado por el Banco Mundial y la formación de comités de evaluación (Guimarães, 1986). Este sistema es implementado por varias compañías estatales de agua y saneamiento en Brasil. En 1991, la compañía de agua y saneamiento de Brasilia (CAESB) comenzó a utilizar este sistema en zonas y barrios de bajos recursos, y actualmente la considera como la solución estándar para la ampliación de servicio (Mara et al., 2001).

En 1981, la ONG Orangi Pilot Project implementó un sistema de saneamiento condominial para dar servicio a más de 112.000 familias en Pakistán. La ONG realizó trabajos de capacitación y sensibilización, y el éxito del proyecto se ha basado principalmente en la cohesión de la comunidad (Ily, 2013a).

En la ciudad de Kumasi, la segunda más grande de Ghana, se implementó la solución de saneamiento condominial financiado por el Banco Mundial en principio de los 90's. Este sistema ha estado operativo y con un funcionamiento satisfactorio por más de 20 años. Esta experiencia fue replicada en otras ciudades africanas, pero fuera de Ghana (Salifu, 2013; Ily et al., 2014).

Otro país donde se aplica recientemente este sistema es India, donde se registran varios proyectos en operación. El caso con mayor experiencia y éxito es el de la localidad de Ramagundam, sistema operativo desde 2005 que funciona satisfactoriamente (Nema, 2013; Ily et al., 2014).

En Uruguay solamente se tiene registros de uso de esta tecnología en complejos de viviendas (cooperativas) (Guido, 2019).



### 3. METODOLOGÍA

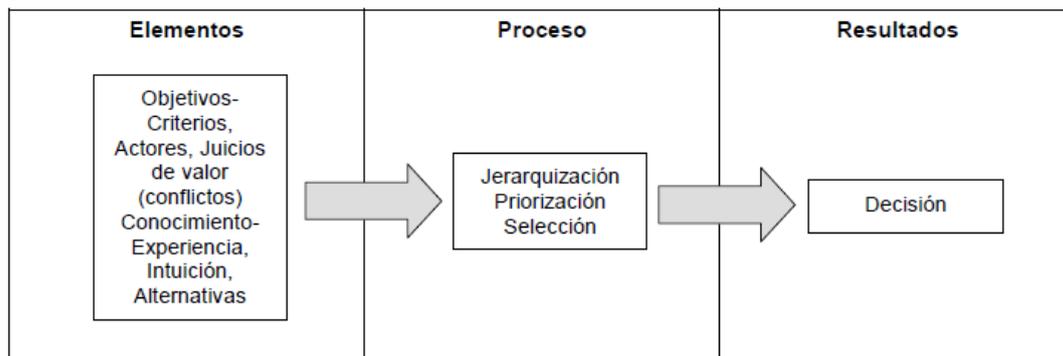
#### 3.1. Toma de decisión

Un proceso de toma de decisión es básicamente una comparación de alternativas. El hecho de comparar se traduce en realizar mediciones que permitan aplicar los criterios de comparación de modo de establecer preferencias entre ellos.

La necesidad de tomar decisiones es tan antigua como la humanidad. Todo el tiempo consciente, o inconscientemente, cualquier acción es el resultado de alguna toma de decisión. Hasta cierto punto, en cualquier esfera práctica, las decisiones se toman sobre la base de la experiencia y del sentido común. Pero existen situaciones que requieren tomar decisiones muy importantes y que pueden afectar las vidas (o bienes) de muchas personas (Pilar, 2011).

La información utilizada para la toma de decisión es para ayudar a entender el contexto, aunque no toda la información es útil. Si solo se procede de manera intuitiva, erróneamente se tiene que todo tipo de información es útil y cuanto mayor sea la cantidad, mejor. Hay numerosos casos donde demasiada información es tan mala como poca información (Saaty, 2008).

**Figura 3-1 Esquema de Problema de Decisión**



Fuente: Pacheco & Contreras (2008).

La Figura 3-1 indica el proceso y contenido de un problema de decisión. Si se desea aplicar una herramienta eficaz y eficiente para la toma de las decisiones, es clave contar con la mayor cantidad de elementos de análisis y utilizar el proceso más adecuado para ello. A continuación se describe cada uno (Pacheco & Contreras, 2008).

**Los Elementos** están compuestos por los objetivos, criterios, actores involucrados, juicios de valor (conflictos), conocimiento, experiencia, intuición, alternativas. Los elementos que participan en un proceso de decisión por lo general involucran variables, de magnitudes diferentes que se miden en escalas diferentes, por lo que se requiere transformarlos en una unidad comparable.

Una variable es un rasgo de la realidad determinado por observación y puede tomar diferentes valores de una unidad de observación a otra. En general, se establece que, dependiendo de la naturaleza de la variable y del tipo de información que trate, estas pueden clasificarse en dos tipos: cuantitativas y cualitativas. Una variable cuantitativa es aquella que representa una característica o propiedad del objeto de estudio (en este caso, la Alternativa a comparar) que puede cuantificarse y puede ser expresada con números.

Una variable cualitativa es una variable que representa una propiedad que hace referencia a cualidades y no puede ser expresada con “números”. En el proceso participan muchas variables intangibles imposibles de cuantificar en medidas tradicionales que deben verse representadas por una escala común. Estas variables son de difícil medición en términos económicos lo cual limita el uso de los métodos tradicionales de evaluación de proyectos.

Cuando el objeto de estudio involucra aspectos políticos, sociales y ambientales, se enfrenta a ambos tipos de variables.

**El Proceso** involucra lo que se refiere a jerarquización (relación de orden entre las alternativas donde se requiere de un modelo de decisión) y priorización (razón de proporcionalidad, en términos de cuánto mejor es una alternativa que otra y donde se requiere de un proceso de evaluación).

**El Resultado** es la decisión sobre la selección de una alternativa, jerarquización o priorización de proyectos.

Las decisiones no se deben tomar considerando sólo elementos económicos, ya que no todos los factores son cuantitativamente expresables en modo monetario. Por otro lado, las consecuencias políticas o el impacto ambiental, u otros efectos posteriores a la ejecución del proyecto seleccionado, son factores de difícil cuantificación y tienen un gran peso en proyectos que involucran un beneficio a la población. En el proceso de comparación de alternativas, los factores como la percepción, intuición, experiencia y otros similares, son de capital importancia lo que implica que los factores cualitativos como los anteriores no pueden ser excluidos (Pacheco & Contreras, 2008).

A su vez, además de la medición y transformación a una escala común de comparación, es necesaria la determinación de la importancia de los criterios entre ellos.

En el análisis de un problema podemos incorporar distintos criterios, de forma de acercar el modelo a la realidad. Esto implica reconocer la complejidad de que el proceso de toma de decisiones sea individual o grupal.

Para tomar una buena decisión, se debe conocer y definir el problema, la necesidad y el propósito de la decisión, los criterios para evaluar las alternativas, las acciones alternativas a tomar, y partes interesadas y grupos afectados. Generalmente, se necesita más de un criterio para tomar una decisión lo que hace complejo el

análisis. Por lo tanto, es importante estructurar el problema y evaluar los criterios relevantes.

### **3.2. Investigación de Operaciones**

Por definición *“La Investigación de Operaciones o Investigación Operativa, es la investigación de las operaciones a realizar para el logro óptimo de los objetivos de un sistema o la mejora del mismo. Esta disciplina brinda y utiliza la metodología científica en la búsqueda de soluciones óptimas, como apoyo en los procesos de decisión, en cuanto a lo que se refiere a la toma de decisiones óptimas y en sistemas que se originan en la vida real”* (CIIO, 2018).

Algunos autores consideran la aplicación de esta disciplina ya en la Segunda Guerra Púnica (212 aC), donde el Rey de Siracusa pidió a Arquímedes que estudiara la mejor forma de posicionar los barcos de guerra de la ciudad para que estos pudieran hacerse a la mar lo más rápidamente posible en caso de un ataque (Pilar, 2011).

El término “Investigación de Operaciones” como tal se utilizó por primera vez durante la Segunda Guerra Mundial, cuando las fuerzas armadas de los “aliados” formaron grupos especiales, constituidos por científicos de las más variadas ramas del saber (físicos, matemáticos, ingenieros, biólogos, entre otros), que tenían por misión preparar proyectos de decisiones para operaciones militares (CIIO, 2018).

La aplicación típica de la Investigación de Operaciones consiste en tomar una decisión de forma tal que la actividad a ejecutarse por dicha decisión resulte ser la más beneficiosa desde algún punto de vista o criterio (Pilar, 2011).

La Investigación de Operaciones se basa en la aplicación de métodos matemáticos cuantitativos para argumentar decisiones orientadas hacia alguna finalidad (Taha, 2004).

En esta disciplina se identifican las siguientes características:

- una fuerte orientación a Teoría de Sistemas,
- la participación de equipos interdisciplinarios,
- la aplicación del método científico en apoyo a la toma de decisiones.

Por lo anterior, la Investigación Operativa se puede definir como *“la aplicación del método científico por equipos interdisciplinarios a problemas que comprenden el control y gestión de sistemas organizados (hombre-máquina); con el objetivo de encontrar soluciones que sirvan mejor a los propósitos del sistema (u organización) como un todo, enmarcados en procesos de toma de decisiones”* (CIIO, 2018).

La aplicación del método científico se puede resumir en:

1. Planteo y Análisis del problema.
2. Construcción de un modelo.

3. Deducción de la/s solución/es.
4. Prueba del modelo y evaluación de la/s solución/es.
5. Ejecución y Control de la/s solución/es.

Cabe comentar que, aunque existen diferentes maneras de analizar un mismo problema dependiendo de los objetivos que se planteen para resolverlo, el problema es único.

### **3.3. Métodos Multicriterio**

#### **3.3.1. Introducción**

Los Métodos de Análisis de Multicriterio (MAMC) provienen fundamentalmente del área de Investigación de Operaciones.

El objetivo es determinar cuánto es más preferible una alternativa sobre otra y para compararlas es necesaria una escala de evaluación común. De esta manera se permite encuadrar los elementos bajo un mismo patrón de comparación, pudiendo de esta manera establecer relaciones entre ellos.

Para esto es necesario el uso de una metodología que relacione los distintos elementos y escalas que están en consideración para la toma de decisiones, sin afectar la calidad, confiabilidad y consenso en los resultados (Pacheco & Contreras, 2008).

El AMC se utiliza en la toma de decisiones cuando se buscan distintos objetivos mediante la implementación de un proyecto (Aznar Bellver, 2012).

Una de las características principales de las metodologías de AMC es la diversidad de factores que se logran integrar en el proceso de evaluación. La particularidad de cada metodología está en la forma de transformar las mediciones y percepciones de cada elemento o criterio en una escala única, de modo de poder compararlos y establecer órdenes de prioridad. A continuación, se enumeran los pasos a seguir para la aplicación de estas técnicas de toma de decisiones (Pacheco & Contreras, 2008):

1. Definir criterios (objetivos intermedios), y sus respectivas restricciones.
2. Definir tipos de variables: discretas o continuas.
3. Modelación de las preferencias. Existen básicamente dos alternativas: optimizar por separado para cada objetivo y luego agregar los subconjuntos de soluciones o asignar pesos a los distintos objetivos y encontrar una sola solución.
4. Definir si se usan modelos determinísticos (sin incertidumbre) o aleatorios.
5. Si se opta por agregar objetivos se deben definir los métodos de agregación, tales como:

- Método de "juicio de expertos".
- Funciones de utilidad de atributos múltiples: transforman los múltiples criterios en uno sólo.
- Análisis de Factores (traducción de "Factor analysis").
- Escalado Multidimensional.
- Proceso Jerárquico Analítico (traducción de "Analytic Hierarchy Process") (AHP).
- Otros.

En esencia, el AMC es una optimización con varias funciones objetivo simultáneas y un único agente decisor.

En palabras de Moreno-Jiménez (citado por Aznar Bellver, 2012):

*"Se entiende por decisión multicriterio, el conjunto de aproximaciones, métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a mejorar la calidad integral de los procesos de decisión seguidos por los individuos y sistemas, esto es a mejorar la efectividad, eficacia y eficiencia de los procesos de decisión y a incrementar el conocimiento de los mismos".*

Los primeros trabajos de AMC fueron realizados en el siglo XIX aplicados a estudios económicos.

En la segunda mitad del siglo XX se tiene mayor desarrollo de la metodología. En 1951 Koopmans define el término de "vector eficiente o no dominado", y Kuhn y Tucker deducen las condiciones que garantizan la existencia de soluciones eficientes en un problema multiobjetivo (Aznar Bellver, 2012).

En 1961 es cuando Charnes y Cooper desarrollan los aspectos esenciales de la programación por metas y en 1968 aparece el primer método de decisión multicriterio discreto: el método ELECTRE (Roy, 1991).

En 1980 se publica el primer libro sobre "Analytic Hierarchy Process" (Saaty, 1980).

Es en esta década cuando la aparición de los computadores revoluciona y potencia la metodología de análisis multicriterio.

### **3.3.2. Clasificación de AMC**

Existen muchas formas de clasificación de los AMC, donde se puede diferenciar entre la escuela Americana y Escuela Europea (Herva & Roca, 2013).

Los métodos difieren en cómo evalúan cada criterio y en cómo combinan la evaluación de los mismos con lograr una evaluación general.

Una de las clasificaciones que se pueden encontrar es la que distingue los métodos en continuos y discretos.

Los AMC continuos toman la decisión dentro del universo de soluciones factibles formado por infinitos puntos. Dentro de los métodos continuos se encuentran la Programación Multiobjetivo o Programación por metas, entre otros.

Los AMC discretos se basan en un conjunto de soluciones finitas (y en pequeño número). En el grupo de los métodos discretos se tiene Electre, Promethee, AHP, y Proceso Análítico en Red (ANP).

También se pueden encontrar otros métodos, con ponderación de variables o determinación de pesos por cada una, donde cabe mencionar el método de Entropía o Critic (Aznar Bellver, 2012).

Otra forma de clasificación es por el flujo de información existente entre analista y decisor (Pacheco & Contreras, 2008):

1. Técnicas sin información a priori, donde el flujo de información es analista - decisor. Entre estas técnicas destacan el método de ponderaciones, el de la  $\epsilon$ -restricción y el multicriterio simplex.
2. Técnicas con información a priori, donde el flujo de información es decisor – analista.

Dentro de las técnicas con información se distingue si el número de alternativas es finito o infinito. Para el último caso se suelen aplicar métodos basados en optimización, tales como métodos de Programación por Compromiso o Programación por Metas.

Si el conjunto de alternativas es finito o discreto, se pueden subcategorizar en:

- Métodos de agregación, donde se modelizan las preferencias a través de una “función valor”. Dentro de estos se encuentran métodos Directos (Teoría de Utilidad Multiatributo - MAUT) y Jerárquicos (AHP).
  - Métodos basados en relaciones de orden, donde se modelan las preferencias a través de un sistema de relaciones binarias, por ejemplo Métodos de Superación.
3. Técnicas con flujo de información en los dos sentidos, dando lugar a las denominadas técnicas interactivas. En este grupo los métodos más utilizados son STEM y Método de Ziots-Wallenius.

En la actualidad, casi todos los métodos pueden considerarse dentro de este último grupo, bastando para ello que el decisor revise sus juicios dentro del proceso de toma de decisiones.

También se puede indicar que, a pesar de las diferencias entre los partidarios de cada uno de los métodos, recientemente se está buscando la integración de al menos dos técnicas (MAUT y AHP) (Pacheco & Contreras, 2008).

La MAUT es un método basado en “agregación de rendimiento”, que requiere la identificación de funciones utilizadas y pesos para cada atributo que pueda ser ensamblado en un criterio único. La selección del procedimiento requiere la verificación de varias suposiciones (Cinelli et al., 2014).

Aquellos problemas en los que el conjunto de alternativas es finito, además de discreto y, cuya decisión se basa en las diversas características o atributos de las alternativas respecto de los criterios de decisión relevantes, se denominan Decisión Multicriterio Discreta y les son aplicables algunos de los métodos de la Decisión Multiobjetivo (Herva & Roca, 2013).

El método Electre aparece como el más utilizado en trabajos científicos de investigación sobre planeamiento y gestión. Sin embargo, el uso de indicadores que no son fáciles de entender por personas ajenas a los ambientes académicos, motiva a que no se tenga en consideración en algunos casos (Pilar, 2011).

Por su parte, el método Promethee, tendría condiciones para superar la reacción negativa antes mencionada del método Electre. Pero, aunque su lógica también sea buena, utiliza una denominación de flujos que complican el entendimiento y aceptación del método (Pilar, 2011).

La gran mayoría de los métodos son aplicados en base a una suficiente cantidad de información cuantitativa, aunque en la práctica real de la toma de decisiones la información con que se cuenta es mínima y limitada. Para estas situaciones es aplicable perfectamente el método AHP (Saaty, 2008).

### **3.4. Proceso Analítico Jerárquico**

#### **3.4.1. Descripción general**

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), es una de las metodologías multicriterio con fundamentos matemáticos más utilizadas. Puede caracterizarse como un método de evaluación multicriterio, de variables discretas, con medición de preferencias por agregación de criterios y determinístico (no considera incertidumbre).

El método AHP fue propuesto por el Prof. Thomas L. Saaty para la toma de decisiones particulares en el Departamento de Defensa de los EEUU. Además, ha sido utilizado en diferentes áreas de trabajo: social, ingeniería, educación, ambiente, economía, transporte, recursos, etc. (Vaidya & Kumar, 2006; Russo & Camanho, 2015).

El AHP ha sido el método de AMC más aplicado en publicaciones desde 1993, dada su versatilidad, pudiéndose adecuar a diferentes situaciones para la selección de alternativas y combinarse con otros métodos (Tramarico et al., 2015).

Cabe resaltar que el método AHP recibió muchas críticas y ha tenido en cada caso excelentes defensas de parte de su autor.

Dyer (1990) criticó el método debido a que se basa en una jerarquización arbitraria y propone su combinación con Multi-Attribute Utility and Value Theories

(MAUT/MAVT). A lo anterior, el creador del método da su respuesta afirmando que esta arbitrariedad no es un problema sino simplemente una arbitrariedad. La evaluación de un conjunto de alternativas depende de todas las alternativas evaluadas efectivamente, por lo que la adición o eliminación de una alternativa lo transforma en una evaluación diferente en cada caso (Saaty, 1990).

A pesar de esto, el método ha sido seleccionado por la NASA para sus análisis de priorización de proyectos, así como también es utilizado por el gobierno de China en sus proyectos de inversión en investigación y desarrollo, entre muchas otras aplicaciones (Vidal et al., 2012).

De acuerdo al conocimiento desarrollado por el uso del AHP y la confianza que brinda, se empezó a combinar con otras técnicas (programación lineal) o modificaciones de AHP (fuzzy AHP) con flexibilidad y de manera efectiva (Vaidya & Kumar, 2006).

### **3.4.2. Metodología**

El objetivo del método es establecer prioridades o ponderaciones para atribuir a diferentes criterios o variables predefinidas sobre el problema. La evaluación es desde criterios estratégicos a nivel macro que representan los objetivos generales hacia un desglose de cada uno hasta llegar a un nivel de especificación que permita un fácil análisis y la comparación de las alternativas. El resultado de esta priorización permite la elección de la alternativa más adecuada.

El procedimiento se basa en el armado del problema de acuerdo a una jerarquía dada por prioridades sobre la base de una comparación de a pares, verificando la consistencia y realizando análisis de sensibilidad. Los últimos dos pasos son opcionales; sin embargo, se recomiendan para lograr credibilidad en los resultados. (Saaty, 2008)

Para aplicar el método AHP no hace falta información cuantitativa de cada alternativa en cada uno de los criterios considerados, sino tan solo los juicios de valor.

Dado que el análisis de un problema implica una selección de las posibles alternativas, sería razonable que los criterios se definan en función de las alternativas.

Para cumplir tanto con la consistencia como con la redundancia del método AHP, es mejor mantener la cantidad de criterios y alternativas en siete o menos (Saaty & Ozdemir, 2003).

El método AHP se basa en tres principios:

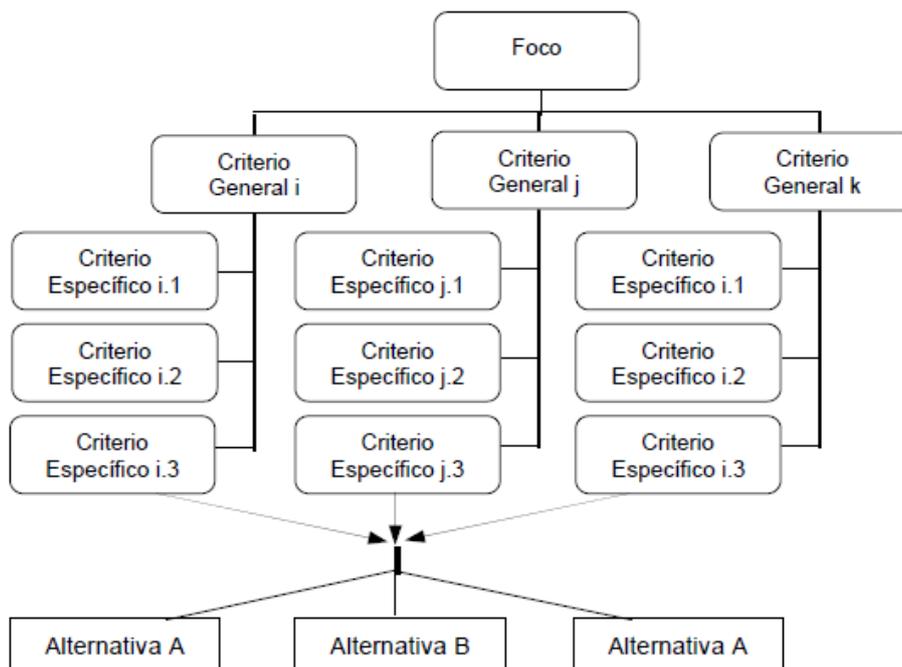
- Construcción de las jerarquías
- Establecimiento de prioridades
- Consistencia lógica

Estos principios guían el proceso de evaluación, y se presentan a continuación.

### 3.4.2.1. Construcción de jerarquías

Los sistemas complejos pueden ser mejor comprendidos mediante su descomposición en elementos constituyentes, la estructuración de dichos elementos jerárquicamente, y la síntesis de los juicios, de acuerdo con la importancia relativa de los elementos de cada nivel de jerarquía, ascendiendo o descendiendo de un nivel a otro (Pacheco & Contreras, 2008).

**Figura 3-2 Jerarquía del problema**



Fuente: Pacheco & Contreras (2008).

Cada conjunto de elementos en una jerarquía como la antes mencionada ocupa un nivel, cual se indica en Figura 3-2. Los niveles son:

- Foco u Objetivo, que es lo que se espera resolver o alcanzar.
- Criterios, que son los elementos que definen el objetivo principal.
- Subcriterios, que son los elementos que definen el criterio de los niveles superiores. Estos deben ser cuantificables.
- Alternativas, que son las diferentes soluciones.

Las jerarquías que trata el método de AHP son aquellas que conducen un sistema hacia un objetivo deseado. Una vez que se establece cuál es el Objetivo, se procede a definir los criterios mediante los cuales se evaluarán las alternativas en búsqueda de la mejor solución para el objetivo planteado.

### 3.4.2.2. Establecimiento de prioridades

Este método multicriterio establece prioridades entre los elementos de la jerarquía. Dicha prioridad se define en función de comparaciones de a pares con respecto a un criterio dado.

Se propone una escala de prioridades como forma de independizarse de las diferentes escalas que existen entre sus criterios. El ser humano es capaz de identificar los criterios que describen una situación, y a la vez puede realizar comparaciones de a pares entre ellos con respecto a un cierto criterio y de esta manera expresar la preferencia de uno sobre otro. De acuerdo a este resultado de análisis, se tiene una escala de preferencia o de prioridad entre cada uno de los criterios analizados. Este análisis integra la evaluación por pensamiento lógico, sentimientos, experiencia, conocimiento, etc. (Pacheco & Contreras, 2008).

Para establecer las prioridades se debe plantear la siguiente pregunta: "¿Cuánto más contribuye la opción A a un objetivo más elevado que la opción B?" Si las preguntas formuladas para obtener los pesos no están formuladas correctamente, se pueden producir omisiones (Macharis et al., 2004).

Un problema que puede surgir en el momento de realizar la priorización es la limitación del uso de la escala de 9 puntos. Según Saaty, el cerebro humano no es capaz de comparar estímulos que difieran demasiado en tamaño. En tales casos, se deben crear grupos organizados jerárquicamente con elementos que sean comparables para la escala propuesta, lo que implica que en algunos casos se deban introducir subcriterios (Macharis et al., 2004; Saaty 1982).

En la Tabla 3-1 a continuación se presenta la escala de valores adaptada de Saaty (2008).

**Tabla 3-1 Escala de Valores de Saaty**

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	2 actividades contribuyen de igual forma al objetivo
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra
5	Importancia Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen de manera importante a una actividad sobre la otra
7	Importancia Muy Fuerte o Demostrada	La experiencia y el juicio favorecen de manera muy importante a una actividad sobre la otra
9	Absoluta	La experiencia y el juicio favorecen de manera absoluta y clara a una actividad sobre la otra

Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes Recíprocos  $a_{ij}=1/a_{ji}$  (Hipótesis del método).

Se crea una matriz para cada criterio, formado por grupo de subcriterios, y así determinar la prioridad entre estos últimos mencionados dentro de su grupo.

Siempre las matrices de comparación son cuadradas, con el mismo número de filas y de columnas. Cada celda de la matriz está asociado a la comparación de un par de criterios y para establecer la comparación se usa la escala de Saaty mostrada en la Tabla 3-1. Dado que en la escala numérica el 1, implica "igualmente importante", la diagonal de la matriz será con 1 al tratarse de comparar cada criterio consigo mismo.

La valoración presentada en la matriz debe ser evaluada en términos de consistencia, es decir, debe verificarse que los juicios subjetivos hayan sido coherentes como conjunto.

Es posible que el nivel de experiencia o conocimiento del evaluador no abarque todos los elementos a comparar, pero esto no debería inhibir la aplicación del método.

### **3.4.2.3. Consistencia lógica**

El ser humano tiene la capacidad de establecer relaciones entre los objetos o las ideas, y que éstas sean consistentes. Esto se refiere a que se relacionen bien entre sí y sus relaciones muestren congruencia. En la aplicación de AHP la consistencia implica dos cosas:

- Transitividad. Si A es mayor que C y C es mayor que B entonces A es mayor que B
- Proporcionalidad. Las proporciones entre los órdenes de magnitud de las preferencias también deben cumplirse, con un rango de error permitido.

La escala a que se hace referencia existe en el inconsciente, no está explícita y sus valores no son números exactos: lo que existe en el cerebro es un ordenamiento jerárquico para los elementos. Dada la ausencia de valores exactos para esta escala, la mente humana no está preparada para emitir juicios 100 % consistentes (que cumplan las relaciones de transitividad y proporcionalidad). Sin embargo, se espera que se viole la proporcionalidad de manera tal que no signifique violaciones a la transitividad (Pacheco & Contreras, 2008).

El AHP mide la inconsistencia global de los juicios mediante la Proporción de Consistencia, la cual es el resultado de la relación entre el Índice de Consistencia (IC) y el Índice Aleatorio (IA).

El Índice de Consistencia es una medida de la desviación de consistencia de la matriz de comparaciones a pares. El Índice Aleatorio es el índice de consistencia de una matriz recíproca aleatoria, con recíprocos forzados, del mismo rango de escala de 1 hasta 9.

El valor de esta proporción de consistencia no debe superar el 10 %, para que sea evidencia de un juicio informado. Esto dependerá del tamaño de la matriz de comparación a pares.

La consistencia se mide como:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Donde:

IC es el cociente de consistencia.

$\lambda_{max}$  es el máximo valor propio de la matriz de comparación.

n es el número de criterios a comparar (en nuestro ejemplo son 3 elementos o criterios).

El Índice Aleatorio se obtiene de la Tabla 3-2 (Saaty, 1997).

**Tabla 3-2 Índice Aleatorio (Saaty, 1997)**

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Aleatorio	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

La relación de consistencia (RC) es:

$$RC = \frac{IC}{IA} \leq 10 \%$$

#### **3.4.2.4. Ventajas de la Metodología**

El método AHP es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones que permite:

- Definir el problema que se desea resolver.
- Identificar los criterios de evaluación en los cuales se basará la toma de decisiones.
- Trabajar con un equipo multidisciplinario.
- Estructurar los criterios y subcriterios en una jerarquía.
- Determinar la importancia de cada criterio bajo una misma escala y sintetizar toda esta información para tomar la mejor decisión.
- Llegar a un resultado en consenso.

#### **3.4.3. Procedimiento para el AHP**

A continuación se presenta el procedimiento de análisis de la aplicación del método AHP de acuerdo a Pacheco & Contreras (2008).

1. Definición del problema. Para la aplicación del método se debe tener claro el problema a analizar, el objetivo de la selección y los criterios de comparación. Es necesario construir un modelo de tal manera que se puedan identificar los criterios y las alternativas que son realmente relevantes.
2. Definición de actores. Es necesario definir los participantes involucrados en la toma de decisión, ya que el resultado debe considerar su opinión y punto de vista.
3. Definición de la estructura de jerarquías. En esta etapa se debe construir una estructura jerárquica que involucre todos los aspectos de interés, para la jerarquización de las alternativas. La estructura jerárquica debe ser lo suficientemente amplia como para incluir todos los aspectos importantes para la toma de decisión, pero lo suficientemente pequeña como para permitir cambios de manera ágil y sencilla.
4. Identificación de las alternativas factibles. Dentro de todas las alternativas se seleccionan aquellas que son factibles de realizar bajo un punto de vista de análisis general, donde se consideran criterios tales como la factibilidad técnica o económica. Se deben eliminar las alternativas que no son factibles según un análisis técnico-económico general, o que no pueden ser evaluadas con los criterios considerados.
5. Construcción de matrices para la comparación de a pares. La comparación se realiza basada en una escala ya definida evaluando cuántas veces un criterio es más importante que otro. Los criterios pueden ser cuantitativos o cualitativos. En caso de estos últimos, se realiza un ranking de las alternativas para su evaluación.
6. Cálculo de los pesos relativos.
7. Validación. Se debe verificar si los resultados resultan de acuerdo a lo esperado o si se identifican anomalías. En este caso se necesita una revisión del proceso o complementar el modelo con otros criterios no previamente identificados o considerados.
8. Reporte e informe. Todo este proceso debe estar muy bien documentado. Cada una de las etapas debe contar con la información suficiente para su desarrollo y posterior justificación.

El AHP integra aspectos cualitativos y cuantitativos en un único proceso de decisión. Dada su metodología es posible el uso de valores personales, experiencia, intuición, conocimiento y pensamiento lógico en una única estructura de análisis.

De este modo, un análisis subjetivo e implícito, se puede transformar en uno objetivo y explícito, facilitando y promoviendo la toma de decisiones bajo escenarios multicriterio y con resultados objetivos y confiables.

### **3.5. Descripción del proceso para la Evaluación Multicriterio AHP**

A continuación, se presenta la descripción del proceso de evaluación detallado y ejemplificado (Pacheco & Contreras, 2008; Aznar Bellver 2012).

### 3.5.1. Grupo de expertos

Dependiendo de los costos admisibles, es de preferencia contar con un grupo de expertos para la elaboración del modelo.

Estos expertos, profesionales o idóneos en el área que se desarrolla el proyecto, deben ser capaces de identificar los objetivos relevantes para el estudio.

Si se logra contar con un grupo de trabajo, se deben realizar entrevistas y reuniones, para que éste trabaje coordinado, facilitando el diálogo y el acuerdo entre los participantes.

De todas maneras, la combinación de las opiniones de éstos resulta una tarea muy tediosa.

Para esto se propone que cada experto haga su evaluación de a pares. Hecho esto, Saaty (2008) propone la media geométrica de los valores definidos por todos expertos como la medida adecuada para sintetizar los criterios en un solo juicio.

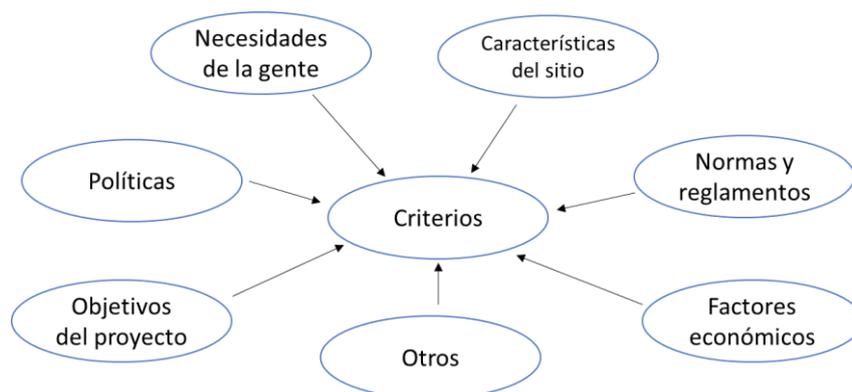
### 3.5.2. Selección de Criterios

La identificación de los criterios para la evaluación del proyecto es muy relevante. La selección de éstos dependerá del tipo de proyecto o del área a que pertenece el mismo (infraestructura, ambiental, social, etc.)

Los criterios a utilizar deben ser capaces de resumir toda la información necesaria para la evaluación después de ejecutado el proyecto.

Para la identificación de los criterios a aplicar es necesario conocer las políticas y planes dentro de los que se enmarca el proyecto, así como las necesidades de los habitantes beneficiados, como se presenta en Figura 3-3.

**Figura 3-3 Selección de Criterios**



Fuente: Adaptado de Pacheco & Contreras (2008)

Es necesario conocer cuál es el factor que define a cada criterio, porque a partir de éste se contará con una variable y un indicador para su evaluación.

Por motivos prácticos se recomienda que no se seleccionen más de 10 criterios.

Una vez seleccionados los criterios, se debe definir como serán medidos. Esto debe ser mediante variables definidas con claridad, que puedan ser comparadas y evaluadas.

El indicador de cada variable será distinto a las otras, pudiendo ser de diferentes magnitudes o escalas, o inclusive ser cualitativos o cuantitativos.

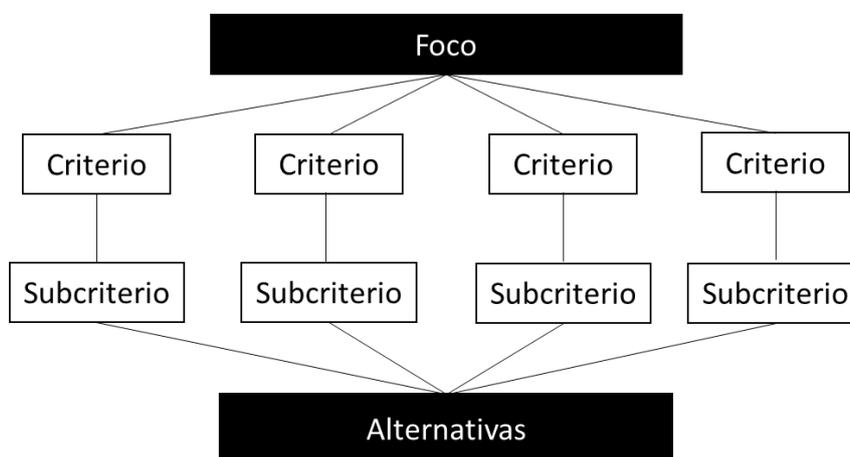
Por lo tanto el método AHP propone el uso de una misma escala para todos los indicadores.

### 3.5.3. Esquema Jerárquico

Definido el problema y los criterios, se procede a la construcción del esquema jerárquico del modelo de evaluación.

El esquema se presenta en Figura 3-4.

**Figura 3-4 Jerarquía del Modelo**



Fuente: Adaptado de Pacheco & Contreras (2008)

### 3.5.4. Matrices de comparación

En esta etapa se establecen las relaciones de importancia relativa entre los criterios.

Esta comparación se realiza aplicando la escala recomendada por Saaty (2008).

A modo de ejemplo, se propone un problema tal que para su solución se consideran tres criterios: ambiental, social, económico, y tres alternativas I, II y III.

Se realiza la matriz A de importancia relativa entre criterios (matriz de a pares).

**Figura 3-5 Matriz A de importancia relativa entre criterios**

	Ambiental	Social	Económico
Ambiental	1	1/3	1/5
Social	3	1	1/3
Económico	5	3	1

La matriz presentada en la Figura 3-5 se lee de la siguiente manera: el criterio social presenta una importancia leve sobre el criterio ambiental, mientras que el criterio económico presenta una importancia considerable sobre el criterio ambiental; o dicho de otra manera, el criterio ambiental es levemente menos importan que el criterio social, y mucho menos importan que el criterio económico.

### 3.5.5. Ponderación

Con la matriz “A” definida en la Figura 3-5, el problema se define por la siguiente ecuación:

$$A \times w = \lambda \times w$$

Donde

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

w= Vector propio que representa el ranking u orden de prioridad

$\lambda$ =Máximo valor propio que representa una medida de la consistencia de los juicios

#### Figura 3-6 Ejemplo de Matriz de comparación con 3 criterios

$$\begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 1/3 \\ 5 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

Para esta operación la matriz A, presentada en Figura 3 6, se calcula el cuadrado de esta matriz simplificada (Figura 3 7) y se suman los elementos para cada fila (Figura 3-8).

#### Figura 3-7 Ejemplo de Matriz de comparación con 3 criterios: cálculo de cuadrado

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.33 & 0.20 \\ 3 & 1 & 0.33 \\ 5 & 3 & 1 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 3 & 1.27 & 0.51 \\ 7.67 & 3 & 1.27 \\ 19 & 7.67 & 3 \end{pmatrix}$$

#### Figura 3-8 Ejemplo de Matriz de comparación con 3 criterios: suma de elementos por fila

$$\begin{pmatrix} 3 & 1.27 & 0.51 \\ 7.67 & 3 & 1.27 \\ 19 & 7.67 & 3 \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} 4.78 \\ 11.93 \\ 29.67 \end{pmatrix}$$

Los valores obtenidos para cada fila se suman y posteriormente, cada uno de los valores en celdas es dividido por la suma resultante para obtener el vector propio, que representa el vector de prioridades para cada criterio (Figura 3-9).

### Figura 3-9 Ejemplo de Matriz de comparación con 3 criterios: cálculo de vector propio y priorización de criterios

$$V = \begin{matrix} 4.78/46.38 & 0.10 \\ 11.93/46.38 & \Rightarrow 0.26 \\ 29.67/46.38 & 0.64 \end{matrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} \text{ambiental} \\ \text{social} \\ \text{economico} \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 10 \% \\ 26 \% \\ 64 \% \end{pmatrix}$$

En el ejemplo se ha establecido el orden de las prioridades o ponderación de las variables. En primer lugar se encuentra el criterio económico, le sigue el social y finalmente, el ambiental.

#### 3.5.6. Consistencia

Para la consistencia, Saaty propone la resolución de la siguiente ecuación:

$$\lambda_{\max} = V \times B$$

Donde:

$\lambda_{\max}$ : se define como el máximo valor propio de la matriz de comparaciones a pares.

V: es el vector de prioridades o vectores propios, que se obtuvo, de la matriz de comparaciones (Figura 3-9).

B: es una matriz fila, correspondiente a la suma de los elementos de cada columna de la matriz A de comparaciones a pares. Es una matriz de  $m \times 1$ , donde m es el número de columnas de la matriz de comparaciones de la Figura 3-6.

$$B = (9,0; 4,33; 1,53)$$

$$\lambda_{\max} = (9 \quad 4.33 \quad 1.53) \times \begin{pmatrix} 0.10 \\ 0.26 \\ 0.64 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_{\max} = 3.02$$

Con el resultado anterior se calcula el índice de consistencia definido en el punto 3.4.2.3.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3.02 - 3}{3 - 1} = 0.0115$$

La relación de consistencia (RC) es:

$$RC = \frac{IC}{IA} = \frac{0.0115}{0.58} = 1.98 \% \leq 10 \%$$

Si el valor de RC es menor a 10 %, se considera que los juicios de comparación de criterios son adecuados. En caso de que no lo fuera, se debe volver a evaluar la matriz de comparación.

### 3.5.7. Selección de Alternativa

En el punto 3.5.5 se definió el vector de ponderación (V) para todos los criterios.

El paso siguiente consiste en la jerarquización de cada alternativa según el criterio en consideración.

Para esto se debe definir una escala para determinar cuál alternativa es mejor que otra según el criterio. A modo de ejemplo se considera una escala 1-2-3, donde la mejor alternativa puntúa 3 mientras que la peor puntúa 1.

**Tabla 3-3 Matriz de comparación de alternativas por criterios**

Alternativa	Criterio		
	Ambiental	Social	Económico
I	3	2	1
II	2	3	3
III	1	1	2

Según lo indicado en la Tabla 3-3 se tiene que la alternativa I es la mejor considerando el criterio ambiental, siendo la peor la alternativa III. Por otro lado, la alternativa II es la mejor considerando el criterio social y la alternativa III la peor. Para el criterio económico la alternativa II es la mejor, y la alternativa I es la peor considerada

Se construye la matriz de alternativas M a partir de la Tabla 3-3 y es normalizada, dividiendo el valor de cada celda por la suma de la columna correspondiente.

**Figura 3-10 Matriz de jerarquización de alternativas por criterios**

$$M = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.50 & 0.33 & 0.17 \\ 0.33 & 0.50 & 0.50 \\ 0.17 & 0.17 & 0.33 \end{pmatrix}$$

Por último, la matriz M (Figura 3-10) se multiplica por el vector V (Figura 3-9). Con esta operación algebraica se obtiene el índice o puntaje de cada alternativa, siendo la alternativa seleccionada la de índice mayor.

**Figura 3-11 Puntaje final por alternativa**

$$\begin{pmatrix} \text{Alternativa I} \\ \text{Alternativa II} \\ \text{Alternativa III} \end{pmatrix} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 24.4 \% \\ 48.3 \% \\ 27.3 \% \end{pmatrix}$$

En la Figura 3-11 se muestra que la alternativa mejor puntuada, según la jerarquización de criterios realizada es la Alternativa II con 48.3 %.

### **3.5.8. Análisis de sensibilidad**

Es recomendable realizar un análisis de sensibilidad variando las relaciones de importancia relativa entre los criterios. De esta manera se pueden simular escenarios posibles diversos y compararlos, observando bajo cuáles hipótesis se tienen los mismos resultados.

### **3.6. Antecedentes**

De acuerdo a bibliografía, el análisis Multicriterio, y particularmente el AHP, ha sido usado ampliamente por investigadores y tomadores de decisión. Vaidya & Kumar (2006) identificaron las siguientes áreas de aplicación del método:

- Social
- Educación
- Industria
- Política
- Ingeniería

A su vez, el método ha sido combinado con otras metodologías complementarias.

De todas maneras, no se ha identificado antecedentes de aplicación del método, especialmente para proyectos de redes de saneamiento con selección de alternativas, ya sea, por comparación de configuraciones de sistemas (dado por la ubicación de plantas de tratamiento o pozos de bombeo) o comparación de tecnologías diferentes de conducción.

En particular, en Uruguay se han ejecutado proyectos de saneamiento donde la selección de alternativas se realizó considerando diferentes criterios u objetivos, pero no se encontró antecedentes de uso de metodologías Multicriterio registradas o patentadas.



## **4. DESARROLLO DEL MODELO**

### **4.1. Presentación**

Presentadas las características de cada sistema de saneamiento a estudiar, con sus ventajas y desventajas, se procede a la selección de los criterios de comparación para evaluar cada uno en diferentes escenarios de aplicación, y compararlos entre sí.

El objetivo principal es identificar los aspectos que justifiquen o no la aplicabilidad de cada sistema, ya que no tiene sentido realizar la comparación sobre criterios en que los resultados, positivos o negativos, sean los mismos para las tres alternativas.

La selección de los criterios se realiza de acuerdo a lo presentado en el capítulo 3.5.2.

En el marco de este trabajo, se propone la metodología y se realiza una selección de criterios bajo el enfoque técnico del autor. Una vez definidos los criterios y los escenarios, se compartirá la metodología con diferentes técnicos vinculados a la disciplina de saneamiento, donde éstos aplicarán la misma en algunos de los escenarios de estudio (que se presentarán en capítulo siguiente), bajo su propio enfoque. Realizado esto, como lo recomienda Saaty (2008), se estimará la media geométrica de los juicios definidos por cada técnico y se determinará la alternativa seleccionada como grupo. Asimismo, los criterios propuestos por el autor resultarán o no respaldados y validados.

### **4.2. Selección de Criterios**

Dentro del universo de criterios aplicables en proyectos de infraestructura, y particularmente, en proyectos de ingeniería sanitaria, se optó por una subclasificación en tres categorías.

Por un lado se consideran los subcriterios técnicos, los cuales están relacionados a aspectos normativos y de diseño. Para esto último se considera criterios de diseño de dimensionamiento del sistema de recolección y elementos anexos (estaciones de bombeo, sistema de tratamiento), como también criterios operativos y de buena práctica en el uso y aplicabilidad del sistema de recolección.

También se consideran un conjunto de criterios asociados a los costos de las obras. La magnitud de las obras es diferente según el sistema aplicado, así como también la importancia de algunos rubros varía según el escenario.

Por último, se tienen los criterios socio-ambientales. Estos criterios se agrupan por la relación que tendría cada sistema de recolección aplicado en determinado lugar y bajo ciertas condiciones sociales y ambientales.

Aunque en la mayoría de los criterios la comparación de alternativas es similar, existen casos donde según el escenario o los criterios del proyecto, hacen que una alternativa sea más apta que otra.

A continuación se presentan los criterios y subcriterios seleccionados para la comparación. En cada caso se realizará el análisis de cada alternativa de acuerdo a cada uno de tales criterios y subcriterios.

#### **4.2.1. Subcriterios técnicos**

Los criterios técnicos se refieren a aspectos vinculados a aprobación por parte de la Administración, tareas de operación y mantenimiento, y cumplimiento de criterios de diseño y sistema de tratamiento necesario.

##### **4.2.1.1. Aceptación Técnica**

Este criterio se refiere a la recepción que tiene cada sistema de saneamiento por parte de los responsables en aprobar el proyecto. Principalmente se basa en el cumplimiento de los parámetros de diseño (pendiente mínima, autolimpieza, etc.).

Se tiene como normativa de referencia el “Reglamento para el Trámite y Ejecución de Proyectos y Obras de Abastecimiento de Agua Potable y Servicio de Saneamiento destinado a Nuevos Fraccionamientos R/D N° 689/00 del 15/06/00” de OSE, cuyos principales criterios de diseño se indicaron en Tabla 2-1, y se resumen a continuación:

- Diámetro mínimo (mm) 200
- Pendiente mínima (%) 0,45; 0,80 para tramos iniciales
- Tapada mínima (m) 0,90
- Distancia máxima entre puntos de inspección (m) 100

Como se mencionó, aunque en Uruguay se cuenta con un reglamento vigente para diseño de efluentes decantados para sistemas MEVIR, este reglamento no es utilizado y se basa en el diseño de los Criterios de Diseño definidos por la Gerencia de Saneamiento (OSE, 1995; OSE, 2017).

Por lo tanto, de los tres sistemas propuestos, el sistema de saneamiento convencional cumpliría con todos los parámetros de diseño y criterios establecidos en la normativa, y no habría dificultades en su aceptación.

Por su parte, el sistema de efluentes decantados propone el uso de diámetros menores, así como pendientes aproximadas a cero, no cumpliendo con criterio de autolimpieza (aunque no sería necesario). También permite el uso de tramos a presión. Estos criterios de diseño pueden no ser aceptados por algunos técnicos responsables de aprobación de proyectos de este tipo de sistemas.

En cuanto al sistema condominial, el aspecto principal de la propuesta se basa en reducir diámetros y excavación en sus tramos iniciales, con trazado de los mismos por predios privados. Aunque se cumple con criterios de autolimpieza, la ubicación de colectores dentro de los límites de propiedad en algunos casos puede no ser aceptado.

#### **4.2.1.2. Vulnerabilidad ante uso inapropiado**

Aunque los tres sistemas presentados son vulnerables frente a falta de mantenimiento, mala operación o uso, existen diferencias entre ellos dadas sus características.

Los tres tipos de sistema son diseñados para conducir efluentes domésticos, por lo que se debe tener un control especial sobre la intrusión pluvial, sea por defectos estructurales del sistema o por conexiones clandestinas.

Si se cuenta con mucha intrusión pluvial, ante eventos extremos, se puede generar desbordes en registros ubicados en la vía pública así como pueden provocar retrocesos a las viviendas.

Se deben realizar campañas de concientización y educación a la población para transmitir las bondades de los sistemas de recolección de efluentes, así como los problemas que se pueden presentar ante el mal uso de las instalaciones. Los sistemas están diseñados para la conducción de líquidos de determinadas características, por lo que tampoco se permite arrojar residuos sólidos domiciliarios o de otro tipo, chatarra, o cualquier otro elemento que afecte la funcionalidad del sistema.

El sistema convencional, al tratarse de redes de mayores diámetros, presenta mayor robustez ante eventos de intrusión pluvial u obstrucciones que afecten la capacidad de conducción.

El sistema de efluentes decantados, al presentar menores diámetros y menores pendientes mínimas, es el más vulnerable frente a obstrucciones. De todas maneras, los elementos extraños solo pueden ingresar al sistema desde los elementos de inspección, ya que lo que proviene de la vivienda queda retenido en la fosa séptica. No es admisible la presencia de conexiones clandestinas pluviales, ya que la capacidad de conducción de los colectores iniciales es muy limitada frente a los caudales que se pueden generar por escorrentía pluvial.

En caso de llenado de la fosa, el desborde se da hacia la vivienda y no afecta el sistema general.

En el sistema condominial también se proponen menores diámetros, por lo que las probabilidades de obstrucción son mayores que en sistema convencional (diámetros mínimos 100 mm y pendiente mínima 0,45 %). Otro aspecto a considerar en el sistema condominial en algunos casos se efectúan construcciones en los predios privados, y no se respeta la ubicación de elementos singulares y colectores, y estos quedan inaccesibles.

#### **4.2.1.3. Operación y Mantenimiento de la red e instalaciones**

Este criterio se refiere a la Operación y Mantenimiento del sistema de tipo preventivo, y no correctivo.

Tanto las redes como los elementos singulares, sin importar el sistema de saneamiento considerado, deben contar con inspecciones periódicas rutinarias y campañas de limpieza.

Los propios sólidos suspendidos y sedimentables de los efluentes pueden producir obstrucciones en las conducciones; se produce por la acumulación de éstos en ciertos puntos vulnerables (baja pendiente, cambio de diámetro, bajo caudal, cambios de régimen, aliviós, etc.). En sistemas convencionales y condominiales, si se cumple con los criterios de pendiente y autolimpieza esto último no sería inconveniente.

También se producen obstrucciones por raíces, ingreso de animales, desmoronamientos de paredes de registro, descascaramiento de colectores, etc., lo que implica tareas de mantenimiento mínimas para garantizar la capacidad de conducción de las tuberías.

Otro aspecto importante dentro de este criterio es la operación y mantenimiento de instalaciones electromecánicas. La presencia de estas hace necesario o no, contar con mano de obra calificada, equipos especiales de mantenimiento, etc.

Estas tareas son aplicables para los tres sistemas de conducción considerados.

Además de lo anterior, por su parte, en los sistemas de efluentes decantados se debe realizar una limpieza periódica de la fosa séptica domiciliaria. Esta tarea puede ser por parte del propio usuario de la fosa, o puede ser por un servicio a contratar (público, privado). Asumiendo que esta tarea se realiza periódicamente, la acumulación de sólidos en la red debería ser menor a los otros dos sistemas evaluados.

#### **4.2.1.4. Tipo de tratamiento de efluentes recolectados**

La fosa séptica domiciliaria en efluentes decantados tiene una remoción de sólidos y materia orgánica de los efluentes, lo que puede, a priori, reducir la capacidad de remoción de estos parámetros necesaria en el sistema de tratamiento previo a la disposición final, debido al ingreso de un líquido con menor carga contaminante.

Cabe resaltar que la remoción de la materia orgánica en la fosa, puede acotar el uso de algunos procesos de tratamiento, ya que la concentración de materia orgánica afluente no es la típica de un efluente doméstico, y tampoco se cumplen las relaciones típicas con otros elementos presentes (C: N: P).

#### **4.2.2. Subcriterios de costos**

Los costos se evalúan de manera cualitativa, de acuerdo a datos de bibliografía y costos conocidos de proyectos ya ejecutados para sistemas de redes de saneamiento. No se evalúan los costos asociados a los sistemas de tratamiento.

#### **4.2.2.1. Suministro de Tuberías**

Tanto el sistema de efluentes decantados como el condominial proponen soluciones con diámetro mínimo admisible de 75 mm y 100 mm respectivamente.

Los colectores de diámetro menor son los utilizados en los tramos iniciales.

Para el sistema de efluentes decantados, la fosa séptica domiciliaria (López, 2015) realiza una laminación de los caudales máximos horarios de vertido por vivienda, por lo que los caudales a conducir serían menores que para sistemas condominial o convencional.

También se debe considerar que para efluentes decantados se permite el diseño del sistema con sección llena (y máxima  $y/d = 0,94$ ), lo que también reduce los diámetros de colectores.

Con estas consideraciones, teniendo en cuenta un mismo aporte por vivienda, hace que se presenten menores costos de suministro de tuberías para la tecnología de efluentes decantados.

Considerando el costos total de suministro y colocación de una red de saneamiento (colectores, elementos singulares, adaptación de sanitaria interna), sea convencional, condominial o efluentes decantados, el suministro de tuberías se puede estimar entre el 10 % y 20 %.

#### **4.2.2.2. Colocación de Colectores**

Como consideración general se puede decir que la tecnología de efluentes decantados admite pendientes menores para la construcción de la red, por lo que los volúmenes de excavación y relleno son menores para estos sistemas. Este argumento también es muy favorable para el uso de la tecnología en terrenos con baja pendiente, rocoso, arenoso o con napa freática alta. Por el contrario, se debe considerar la construcción de la fosa séptica. En zonas con lotes con espacios libres o sistemas de saneamiento estáticos se puede implementar con facilidad, mientras que en zonas con espacio reducido, la colocación de la fosa puede encarecer la solución.

Para el sistema condominial, en los tramos iniciales (e internos a los padrones o lotes), se admiten profundidades menores, lo que también se traduce en menores volúmenes de excavación y relleno. También, los sistemas condominiales tienen la posibilidad de realizar trazados internos a los predios servidos o vías peatonales internas para la recolección de los efluentes. Esto presenta beneficios en terrenos con fuertes pendientes, o pendientes en sentido contrario al frente de los lotes.

El uso de sistema convencional se hace dificultoso en zonas con espacios libres reducidos tanto para trazados de colectores como ubicación de elementos de inspección. Las pendientes de colectores implican mayores volúmenes de excavación y relleno, así como dificultades en zonas con napa freática alta o arena. En suelos con roca suele ser una solución costosa.

Considerando el costo total de suministro y colocación de una red de saneamiento (colectores, elementos singulares, adaptación de sanitaria interna), sea convencional, condominial o efluentes decantados, la Colocación de Colectores se puede estimar entre el 40 % y 50 %.

#### **4.2.2.3. Construcción o suministro de Elementos singulares**

Como primera consideración para este criterio, para la tecnología de efluentes decantados, al tratarse de conducción de líquidos con bajo contenido de sólidos no se propone en los criterios de diseño una distancia mínima entre separación de elementos de inspección. A su vez, al ser colectores de baja pendiente esto se traduce en menores profundidades, por lo que las prestaciones estructurales de los elementos de inspección son menos exigentes que para las otras tecnologías. Se pueden utilizar unidades prefabricadas de inspección.

Para los tramos iniciales de sistemas condominiales, los elementos de inspección se proponen de materiales constructivos comunes y de métodos constructivos simples, buscando así bajar los costos. Al igual que en efluentes decantados, se pueden utilizar unidades prefabricadas de inspección.

Los sistemas convencionales exigen elementos para inspección cada no más de 100 m de distancia. A su vez, estos elementos pueden llegar a ser de profundidades mayores y con exigencias estructurales mayores, lo que se traduce en mayores costos constructivos. También se cuenta en el mercado con unidades prefabricadas de inspección.

Considerando el costo total de suministro y colocación de una red de saneamiento (colectores, elementos singulares, adaptación de sanitaria interna), sea convencional, condominial o efluentes decantados, la construcción de elementos singulares se puede estimar entre el 10 % y 20 %, siendo mayor en casos donde los sistemas presentan más cambios de dirección o más confluencias de colectores.

#### **4.2.2.4. Estaciones de bombeo**

En cuanto al uso de estaciones de bombeo, para un mismo proyecto, en principio para los sistemas convencionales y condominiales se requeriría la misma cantidad de estaciones de bombeo así como igual capacidad. Esto se asume dado que los caudales de diseño son los mismos y las pendientes mínimas constructivas admisibles también.

Para los sistemas de efluentes decantados, al tratarse de pendientes constructivas menores se pueden considerar estaciones de bombeo menos profundas. Esto es muy favorable para zonas donde hay presencia de roca o napa freática alta. También puede ser necesaria menor cantidad de estaciones, ya que el uso de pendientes negativas en los colectores permite el trasvase de cuencas topográficas. Por último, al ser caudales máximos horarios laminados por las fosas sépticas domiciliarias, las capacidades de los equipos son menores.

#### **4.2.2.5. Adecuación de Sanitaria interna y conectividad**

Este criterio evalúa las alternativas de saneamiento propuestas de acuerdo a la necesidad o no de adecuar su sanitaria interna, así como también, a las facilidades en cuanto a conectividad de cada padrón al sistema colectivo.

En cuanto a adecuación de la sanitaria interna, el sistema que mejor se adapta es el condominial por su trazado con colectores prediales. Por esto, cualquier padrón, sin importar su disposición, nivel de implantación con respecto al sistema o pendiente de terreno, se pueda conectar al servicio colectivo.

Tanto en el sistema convencional como en el de efluentes decantados, la conexión se realiza al frente del padrón, sobre colector en vía pública. Comparado con el sistema condominial, esto puede ser dificultoso para los padrones con nivel de implantación por debajo de colector o pendientes de terreno en dirección contraria al colector.

Exclusivamente para sistema de efluentes decantados, se debe considerar además la necesidad de construcción de fosa séptica individual. Esto implica la modificación obligatoria de la sanitaria interna, principalmente en los casos donde no se tiene depósito impermeable (en este caso el depósito puede ser adaptado a fosa). En los lotes donde no se cuenta con espacio suficiente o el factor de ocupación de terreno (superficie construida/superficie total) es alto, la construcción de la fosa individual puede ser muy difícil y costosa.

Considerando el costo total de suministro y colocación de una red de saneamiento, la adecuación de la sanitaria interna y conexión se puede estimar entre el 20 % y 30 %.

#### **4.2.3. Subcriterios socio-ambientales**

Estos criterios se vinculan a las condiciones sociales y ambientales que caracterizan el lugar donde se proyecta la solución de saneamiento.

##### **4.2.3.1. Posibilidad de uso de mano de obra no calificada**

El sistema de efluentes decantados no requiere de mano de obra altamente capacitada para la construcción de redes y elementos singulares. De todas maneras, se debe tener especial cuidado en la construcción de la fosa séptica.

Para los sistemas condominial y convencional, se debe cumplir con los requisitos constructivos de pendiente mínima, ya sea de colectores como en conexiones, por lo que la mano de obra requerida debe ser calificada, o al menos contar con una supervisión permanente.

En caso de contar con estaciones de bombeo, se considera que no hay diferencias entre los sistemas en cuanto a las exigencias de capacitación del personal para su construcción.

#### **4.2.3.2. Participación de la comunidad**

La tecnología de efluentes decantados, particularmente el elemento de fosa domiciliaria, exige que haya un involucramiento obligatorio de los usuarios para su uso y mantenimiento. El mal uso de la unidad o la falta de mantenimiento se pueden traducir en un colapso en la sanitaria interna, pero no afectaría, en principio, el sistema general. Una forma de minimizar este riesgo es tercerizar el servicio de mantenimiento de la fosa séptica.

Para el caso de sistemas condominiales, son realmente importantes las relaciones interpersonales dentro de la comunidad usuaria y el entendimiento completo del funcionamiento del sistema. En este caso, la afectación de un colector condominial dentro de un predio particular sí puede perjudicar el sistema general. Se deben respetar los trazados de los colectores y ubicación de elementos de inspección dentro de los predios, evitando construir sobre estos.

En muchos casos, las características socio-económicas de una comunidad no son las adecuadas para la aplicación de soluciones en que se requiera una participación y compromiso por parte de los usuarios, prefiriendo pagar un mayor costo por el servicio, pero asegurar su operación y mantenimiento por el administrador del sistema.

#### **4.2.3.3. Aceptación Pública**

Los sistemas deben ser aceptados por sus usuarios, ya que es básico para el éxito de la solución.

En principio, podemos asumir que el sistema convencional es aceptado por la mayoría de la población, ya que es un servicio conocido y probado.

Para los casos de efluentes decantados y condominiales, la aceptación depende de la forma de comunicación con que se le brinda la información a la comunidad, así como del conocimiento que se tenga del sistema.

La limpieza de la fosa séptica es un aspecto importante, ya que en algunos casos los usuarios no toman la responsabilidad de su mantenimiento, o ni siquiera aceptan la construcción de ésta dentro de su predio.

De igual manera, para los condominiales, los usuarios pueden no aceptar la presencia de colectores públicos dentro de su propio predio, como tampoco permitir el ingreso de personal de mantenimiento del sistema a su propiedad para realizar tareas de limpieza o inspección.

#### **4.2.3.4. Generación de residuos sólidos**

Por un lado, los sistemas condominiales y convencionales generan residuos sólidos provenientes de las tareas de limpieza. Mayoritariamente se tiene arena con contenido de materia orgánica. Este residuo debe ser acondicionado (por ejemplo lavado) y dispuesto de acuerdo a las exigencias de la normativa vigente.

Los sistemas de efluentes decantados generan menor cantidad de residuos por las tareas de limpieza de redes ya que los líquidos conducidos presentan bajo contenido de sólidos. Por el contrario, cada fosa séptica domiciliar debe ser limpiada al menos una vez al año. El lodo generado debe ser extraído por el usuario o por el administrador del sistema, acondicionado (deshidratado o secado) y dispuesto de acuerdo a las exigencias de la normativa vigente. El lodo digerido generado por una familia de 3 personas es de 195 L de lodo fresco por año (ABNT, 1993).

#### **4.2.3.5. Riesgo para la salud de operarios y usuarios**

Tanto las tareas de operación y mantenimiento, como fallas de cada sistema presentan diferente nivel de riesgos.

Los efluentes decantados de por sí presentan el riesgo de manejo del lodo de la fosa séptica.

Para el caso de los condominiales, los posibles desbordes de cámaras y colectores pueden afectar los predios privados, y poner en riesgo la salud de usuarios.



## **5. ANÁLISIS DE ESCENARIOS**

### **5.1. Introducción**

En el capítulo anterior se presentaron los criterios para realizar la comparación entre las tecnologías de saneamiento analizadas.

Todas las tecnologías tienen elementos y aspectos en común, debido a su mismo origen (los sistemas de saneamiento alternativos surgen como variante del sistema convencional).

Cuando se realiza una comparación con el fin de evaluar cuál tecnología usar, el resultado puede no ser categórico ya que hay ciertos criterios y aspectos que son iguales para las tres soluciones presentadas, por ejemplo: material de tuberías, sistemas de limpieza, equipos de bombeo, elementos de inspección, etc.

Por lo anterior, en el marco de este estudio es que los criterios de comparación fueron seleccionados dentro de un universo de criterios mayor, de manera tal que el uso de una tecnología u otra realmente tenga un resultado y efecto diferente con su uso.

Definidos los criterios y subcriterios, se procede a la comparación de tecnologías en seis escenarios diferentes.

Aunque estos escenarios fueron creados a partir de condiciones y/o particularidades que se puede encontrar fácilmente en la realidad, se aclara que en ningún caso se trata de casos técnicos reales.

Estas condiciones o particularidades hacen que la mejor opción a utilizar no sea siempre la misma, y alguna tecnología se adapte mejor que otra para cada escenario.

Las condiciones no solamente se refieren a aspectos técnicos, sino que también existen condiciones económicas, sociales y ambientales que consideradas en conjunto y en un lugar específico, puedan llevar a que la solución a utilizar no sea la que se consideraría a priori.

Particularmente para los criterios de costos, no se efectúa la cotización de cada alternativa en cada escenario, sino que se realiza una calificación cualitativa según los resultados recopilados en bibliografía. Tampoco se considera el costo asociado al sistema de tratamiento y disposición final.

Se asume un 100 % de conectividad de la población para cada escenario.

En cada escenario se realiza la comparación de criterios y subcriterios de a pares, según la Metodología AHP seleccionada para la evaluación.

A continuación, se presenta la aplicación de la metodología bajo el enfoque del autor. Para cada grupo de criterios y subcriterios se presenta la ponderación

calculada. Las asignaciones de importancia (matrices completas) según la Escala de Saaty se presentan en Anexo.

## **5.2. Escenario 1**

### **5.2.1. Descripción**

Como Escenario 1 (E1) se tiene una ciudad con un sistema de recolección y tratamiento de efluentes domésticos operativo, y por el crecimiento urbano se propone una ampliación del sistema de recolección existente.

La ampliación es en una zona establecida con una densidad de población alta, alto factor de ocupación de terreno, sin sendas peatonales o pasajes internos entre padrones, con sistema de calles público y servicios. La mayoría de los predios cuentan con sanitaria interna regularizada, con depósitos impermeables con alivio a vía pública.

El sistema existente es gestionado por Administración Pública, por lo que, aunque no es un criterio excluyente, para el diseño de la ampliación se debe cumplir con los requerimientos definidos por ésta.

No será necesario considerar estaciones de bombeo ni sistema de tratamiento.

### **5.2.2. Comparación de Criterios**

Dado que se trata de un proyecto a anexar a un sistema principal, en una zona ya regularizada, los criterios técnicos se consideran los más importantes, junto con los criterios socio ambientales, ya que se trata de un proyecto a realizar por la Administración Pública para beneficio de los contribuyentes. Los costos se consideran de mucho menor importancia que los anteriores. Los resultados se presentan en Tabla 5-1.

**Tabla 5-1 Comparación de Criterios Escenario 1**

Criterios	Ponderación
Técnicos	45 %
Costos	9 %
Socio-ambientales	45 %

### **5.2.3. Comparación de subcriterios técnicos**

Dentro de los criterios técnicos, aunque no se toma como excluyente, se considera el más importante "Aceptación Técnica", debido a que se debe anexar el futuro sistema a un sistema existente dentro de una zona urbana ya regulada, y que opera bajo los recaudos establecidos por los reglamentos de la Administración del servicio. El sistema está determinado por lo existente, y a su vez debe considerar futuras ampliaciones.

Igual en importancia se considera “Vulnerabilidad ante uso inapropiado”, ya que el sistema se ubica en una zona urbana ya regularizada, por lo cual no es deseable que haya fallas o que se requiera un mantenimiento frecuente.

Los criterios “Operación y Mantenimiento de la Red” y “Operación y Mantenimiento de instalaciones” son menos importantes que los anteriores mencionados. Bajo la misma premisa de que el sistema nuevo se anexará a un sistema existente y operativo, se asume que ya se cuenta con una rutina de operación y mantenimiento definida y que no debería ser modificada.

Por último en importancia se considera “Tipo de tratamiento de efluentes recolectados” ya que no se debe considerar para la evaluación de la solución de recolección de efluentes en este escenario. Los resultados se presentan en Tabla 5-2.

**Tabla 5-2 Comparación de subcriterios técnicos Escenario 1**

Criterios	Ponderación
Aceptación Técnica	35 %
Vulnerabilidad ante uso inapropiado	35 %
Operación y mantenimiento de la Red	13 %
Operación y mantenimiento de instalaciones	13 %
Tipo de tratamiento de efluente recolectados	3 %

#### 5.2.4. Comparación de subcriterios de costos

El criterio de mayor importancia es “Colocación de Colectores”. Dado que se trata de una urbanización regular, se deberá trabajar sobre vía pública con circulación permanente. Se considera por debajo, y de igual importancia, “Suministros de Tuberías” / “Construcción o suministro de elementos singulares”.

El criterio “Estaciones de Bombeo” y “Adecuación de la Sanitaria interna/conectividad”, se consideran los menos importantes. No se debe evaluar el uso de Estaciones de Bombeo para el proyecto, así como tampoco se prevé intervenciones en la sanitaria interna de los domicilios potencialmente a conectar, ya que deberá correr por cuenta de los usuarios. Los resultados se presentan en Tabla 5-3.

**Tabla 5-3 Comparación de subcriterios Costos Escenario 1**

Criterios	Ponderación
Suministros de Tuberías	15 %
Colocación de Colectores	60 %
Construcción o Suministro de Elementos Singulares	15 %
Estaciones de bombeo	5 %

Criterios	Ponderación
Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	5 %

### 5.2.5. Comparación de subcriterios de socio ambientales

Se considera el criterio más importante “Riesgo de salud para operarios/usuarios”, pero aquí se basa en que el sistema propuesto es para una zona urbana densamente poblada donde la recolección de efluentes domésticos es de suma importancia para garantizar la salubridad de la población.

Con igual importancia se considera “aceptación pública”. Aunque la población beneficiaria no cuenta con el servicio de saneamiento, se asume que solo aceptarían el servicio si garantiza una mejora en su modo de vida y en la calidad ambiental, sin afectar su rutina ni las condiciones de la urbanización. Además, se puede beneficiar gente adicional, ya sea habitantes a servir por el interceptor final hacia el sistema existente como población de zonas aledañas a la urbanización que ven con buenos ojos la ampliación del servicio.

En un segundo nivel de importancia se considera “Posibilidad de uso de mano de obra no calificada” y “Participación de la comunidad”. En este escenario las obras deben ser ejecutadas mientras que la urbanización debe continuar con su rutina diaria, buscando la menor afectación posible, por lo que la mano de obra debe ser idónea y calificada. En cuanto a Participación de la comunidad, al ser una comunidad urbana establecida se hace difícil que se involucre en el mantenimiento del sistema, sino que optará por pagar para se le ofrezca el servicio.

Por último se considera “Generación de residuos sólidos”. En lo que se refiere a la generación en volumen y en el mantenimiento requerido propiamente dicho no aumentaría la operativa ya implementada en el sistema principal, por lo que se no debe considerar como un trabajo adicional de importancia. Los resultados se presentan en Tabla 5-4.

**Tabla 5-4 Comparación de subcriterios socio ambientales Escenario 1**

Criterios	Ponderación
Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	7 %
Participación de la comunidad	7 %
Aceptación pública	41 %
Generación de residuos sólidos	4 %
Riesgo de salud para operarios/usuarios	41 %

### 5.2.6. Resultado

**Tabla 5-5 Jerarquización de subcriterios Escenario 1**

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	35 %	45 %	16 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	35 %	45 %	16 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	13 %	45 %	6 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	13 %	45 %	6 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	3 %	45 %	1 %
6	Suministros de Tuberías	15 %	9 %	1 %
7	Colocación de Colectores	60 %	9 %	5 %
8	Construcción o suministro de elementos singulares	15 %	9 %	1 %
9	Estaciones de bombeo	5 %	9 %	0 %
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	5 %	9 %	0 %
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	7 %	45 %	3 %
12	Participación de la comunidad	7 %	45 %	3 %
13	Aceptación pública	41 %	45 %	19 %
14	Generación de residuos sólidos	3 %	45 %	2 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	41 %	45 %	19 %

**El criterio más importante es “Aceptación Pública” / “Riesgo de salud” 19 %, de “Aceptación Técnica” / “vulnerabilidad” en 16 %. Ver**

Tabla 5-5.

Los resultados obtenidos son acordes con los lineamientos del proyecto: diseño de acuerdo a reglamentación, beneficio y cuidado de los usuarios, robustez del sistema.

### 5.2.7. Jerarquización de Alternativas

Según lo presentado en el punto 3.5 se realiza la jerarquización de las alternativas para el escenario de estudio. Para utilizar la misma escala de comparación para todos los criterios, se propone una escala con valores mínimo (1), máximo (5) e intermedio (3).

El nivel máximo se considera como la alternativa que mejor cumple con el criterio para el escenario de estudio, mientras que el nivel mínimo es para la alternativa que

menos ventajas ofrece. Se admite la asignación de puntuación igual a dos o más alternativas, ya que en algunos casos, dado el criterio no hay ventajas o desventajas entre ellas.

En la Tabla 5-6 a continuación se analiza la jerarquización.

**Tabla 5-6 Comparación de Alternativas Escenario 1**

#	Subcriterio	Comentarios
1	Aceptación Técnica	El sistema convencional es el menos discutible, ya que hay amplia experiencia en su aplicación. Efluentes decantados cumple con reglamentación vigente aunque no es aceptado por malas experiencias a nivel local. El sistema condominial es el más discutido dada la poca experiencia en el país.
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	El sistema convencional es el menos vulnerable, mientras que efluentes decantados es el más vulnerable dado el tamaño mínimo de sus colectores. Condominial se considera intermedio, dado la posibilidad de que no se respete la restricción de edificación sobre el trazado de los colectores condominiales.
3	Operación y mantenimiento de la Red	La red de efluentes decantados presenta menor contenido de sólidos, por lo que requiere menor limpieza. La limpieza de sistema condominial y convencional son similares.
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	En el caso de efluentes decantados se debe considerar la limpieza y mantenimiento de la Fosa séptica, por lo que se considera puntaje menor. Para condominial y convencional se considera el mismo concepto que en el criterio anterior.
5	Tipo de tratamiento de efluentes recolectados	Dado que no se considera tratamiento, ninguna alternativa ofrece ventaja sobre otra.
6	Suministros de Tuberías	En cuanto a costos, los sistemas de efluentes decantados son los más baratos en suministro de tuberías, seguidos de sistema condominial.
7	Colocación de Colectores	Dado que se trata de una zona urbana establecida, sin sendas peatonales o pasajes internos entre padrones, con sistema de calles público y servicios regularizados, el trazado de los colectores condominiales sería muy dificultoso y molesto para los usuarios. Por su parte, dadas las condiciones de los padrones y su alto nivel de ocupación, es muy difícil la

#	Subcriterio	Comentarios
		construcción de cada fosa séptica domiciliaria.
8	Construcción o suministro de elementos singulares	Los elementos singulares más baratos son del sistema de efluentes decantados seguido de condominial.
9	Estaciones de bombeo	Dado que no se considera estación de bombeo, ninguna alternativa ofrece ventaja sobre otra.
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	El sistema condominial no requiere adecuación de la sanitaria interna, mientras que para convencional debe contar con descarga hacia el frente del predio. Para efluentes decantados, además de modificar sanitaria para descarga al frente, se requiere la construcción de fosa séptica domiciliaria.
11	Uso de mano de obra no calificada	En este escenario se considera de igual calificación la mano de obra para construcción de sistema convencional y condominial. Para efluentes decantados, aunque la construcción de redes es sumamente sencilla, por el contrario, se tiene la dificultad de construcción de la fosa séptica.
12	Participación de la comunidad	En este caso la participación de la comunidad no debe ser considerada más allá de asumir que se conectarán al sistema y lo usarán adecuadamente. Por lo tanto, se tiene como mejor opción sistema convencional y condominial, y efluentes decantados en segundo lugar.
13	Aceptación pública	Se considera que el sistema convencional es el mejor aceptado por todos los beneficiarios, mientras que efluentes decantados es el menos aceptado debido a que se debe intervenir su sanitaria interna así como mantener la fosa séptica domiciliaria.
14	Generación de residuos sólidos	La solución de efluentes decantados, además de los residuos de limpieza de red (que son de menor volumen que en las demás alternativas), se tiene la generación de lodo digerido en la fosa séptica domiciliaria.
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	Dado que todos los elementos de construcción del sistema convencional se instalan en espacios públicos, el riesgo a la salud de población es menor que en las demás alternativas. Para sistema condominial, se

#	Subcriterio	Comentarios
		considera mayor riesgo por la presencia de colectores y cámaras en predios de los usuarios. Por su parte, para efluentes decantados se presenta un riesgo mayor ya que se cuenta con la fosa séptica domiciliar y los usuarios pueden tener contacto con los efluentes o lodos de la unidad.

La matriz de comparación de alternativas se presenta en Tabla 5-7.

**Tabla 5-7 Matriz de Comparación de alternativas Escenario 1**

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	5	1	1	3	3	3	5	3	5
Efluentes decantados	3	1	5	1	1	5	3	5	1	1	1	1	1	1	1
Condominial	1	3	3	3	1	3	1	3	1	5	3	3	3	3	3

De acuerdo a las premisas del proyecto, se tenía una ampliación de un sistema existente en una zona regularizada, donde los criterios técnicos y de protección de la salud tenían prioridad frente a los otros.

Con lo anterior y la matriz de comparación de alternativas se tiene que para este escenario la solución más apropiada es la de Saneamiento convencional, mientras que la menos apropiada es Efluentes Decantados. Ver Tabla 5-8.

**Tabla 5-8 Resultado de comparación de alternativas Escenario 1**

Alternativa	Puntaje
Convencional	51.1 %
Condominial	29.1 %
Efluentes decantados	19.8 %

### 5.3. Escenario 2

#### 5.3.1. Descripción

En el Escenario 2 (E2) se considera una zona urbana donde se produce una urbanización espontánea, de contexto social crítico, en un espacio público que anteriormente se encontraba desocupado. Dado el crecimiento desordenado y sin criterio común durante la ocupación, se tiene un trazado de calles y sendas peatonales muy irregular. Los espacios libres de circulación son muy reducidos. No se tiene límites claros entre los diferentes "lotes". Los efluentes líquidos son conducidos en su mayoría a cunetas frentistas o traseras.

La ciudad donde se ubica el proyecto cuenta con sistema de recolección y tratamiento de efluentes operativo y el impulso del proyecto de saneamiento se debe a políticas de aumento de cobertura de servicio de saneamiento por parte de la Administración Pública. Según estudios básicos, la ampliación se realiza por medio de colector a gravedad.

Se busca implementar la mejor solución técnica a menor costo.

### 5.3.2. Comparación de criterios

Asumiendo que cualquier solución es técnicamente admisible y con beneficios sociales y ambientales adecuados, se considera más importante el criterio “costos” sobre los criterios “técnicos” y “socio-ambientales”. Ver Tabla 5-9.

**Tabla 5-9 Comparación de Criterios Escenario 2**

Criterios	Ponderación
Técnicos	20 %
Costos	60 %
Socio-ambientales	20 %

### 5.3.3. Comparación de subcriterios técnicos

En este escenario se tiene a los criterios más importantes en este grupo como “Aceptación Técnica” y “Vulnerabilidad ante uso inapropiado”. Como el sistema formará parte de un sistema ya operativo, deberá adecuarse a lo existente. A su vez, el sistema debe presentar baja vulnerabilidad, de manera de no afectar el sistema aguas abajo así como los futuros usuarios conectados.

La operación y mantenimiento, aunque el escenario presenta dificultad por su contexto social, no implica un aumento del volumen de trabajo ya asociado al sistema principal, por lo que se consideran iguales y de un nivel más abajo en importancia con respecto a los criterios anteriores.

Al no ser necesario un sistema de tratamiento, este criterio es el de menor importancia.

Los resultados se presentan en Tabla 5-10.

**Tabla 5-10 Comparación de subcriterios técnicos Escenario 2**

Criterios	Ponderación
Aceptación Técnica	35 %
Vulnerabilidad ante uso inapropiado	35 %
Operación y mantenimiento de la Red	12 %
Operación y mantenimiento de instalaciones	12 %

Criterios	Ponderación
Tipo de tratamiento de efluente recolectados	5 %

### 5.3.4. Comparación de subcriterios de costos

El criterio de mayor importancia es “Colocación de Colectores”. Dado que se trata de una zona irregular, con poco espacio libre para realizar excavaciones, movilización de maquinaria, etc., las tareas a realizar pueden tener una dificultad extra.

Luego se considera de igual importancia “Adecuación de la Sanitaria interna/conectividad”, ya que se debe regularizar todos los domicilios de toda el área de proyecto, así como efectuar las conexiones domiciliarias. Por las condiciones del lugar, tiene un alto costo de inversión y a su vez de trabajo social.

Se considera por debajo, y de igual importancia, “Suministros de Tuberías” / “Construcción o suministro de elementos singulares”.

El criterio “Estaciones de Bombeo” es el menos importante, ya que no se requiere evaluar su uso. Los resultados se presentan en Tabla 5-11.

**Tabla 5-11 Comparación de subcriterios Costos Escenario 2**

Criterios	Ponderación
Suministros de Tuberías	7 %
Colocación de Colectores	41 %
Construcción o Suministro de Elementos Singulares	7 %
Estaciones de bombeo	3 %
Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	41 %

### 5.3.5. Comparación de subcriterios de socio ambientales

Como en los casos anteriores, se considera el criterio más importante “Riesgo de salud para operarios/usuarios”, pero aquí se basa en que el sistema propuesto es para una zona urbana con población vulnerable.

Segundo en importancia se considera “aceptación pública”: aunque cualquier solución será bienvenida, se puede beneficiar gente extra a la que habita a la zona de proyecto debido a la interconexión del sistema proyectado con el sistema actual.

En tercer lugar en importancia se propone “Participación de la comunidad”. Durante la obra se deberá convivir con los beneficiarios, y se deberá tener los recaudos necesarias para afectar lo menos posible las costumbres de la población. La participación de la comunidad es importante, ya que al tratarse de una zona de crecimiento desordenado, ésta deberá ser tolerante frente a los inconvenientes que

se presenten durante las obras. También será importante luego, para darle el correcto uso al sistema, donde se requerirá un trabajo social y presencia permanente en el lugar.

Último en importancia se considera “Posibilidad de uso de mano de obra no calificada” y “Generación de residuos sólidos”. El primero porque no hay interés de la comunidad en participar, y el segundo porque su generación no alterará la operativa existente del sistema principal, más allá de la dificultad de mantenimiento que ya se consideró en criterios anteriores. Los resultados se presentan en Tabla 5-12 .

**Tabla 5-12 Comparación de subcriterios socio ambientales Escenario 2**

Criterios	Ponderación
Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	6 %
Participación de la comunidad	11 %
Aceptación pública	24 %
Generación de residuos sólidos	8 %
Riesgo de salud para operarios/usuarios	52 %

### 5.3.6. Resultado

Los criterios más importantes, debido a las características de la zona, son “Colocación de Colectores” y “Adecuación de Sanitaria interna/conectividad” 25 % y “riesgo de salud” 10 %. Ver Tabla 5-13.

**Tabla 5-13 Jerarquización de subcriterios Escenario 2**

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	35 %	20 %	7 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	35 %	20 %	7 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	12 %	20 %	2 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	12 %	20 %	2 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	5 %	20 %	1 %
6	Suministros de Tuberías	8 %	60 %	4 %
7	Colocación de Colectores	52 %	60 %	25 %
8	Construcción o suministro de elementos singulares	8 %	60 %	4 %
9	Estaciones de bombeo	4 %	60 %	2 %

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	28 %	60 %	25 %
11	Uso de mano de obra No calificada	6 %	20 %	1 %
12	Participación de la comunidad	11 %	20 %	2 %
13	Aceptación pública	24 %	20 %	5 %
14	Generación de residuos sólidos	8 %	20 %	2 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	52 %	20 %	10 %

Se observa que los criterios más importantes se refieren a “costos” y cuidado de la salud, de acuerdo a los lineamientos del Escenario.

### 5.3.7. Jerarquización de Alternativas

En la Tabla 5-14 a continuación se analiza la jerarquización.

**Tabla 5-14 Comparación de Alternativas Escenario 2**

#	Subcriterio	Comentarios
1	Aceptación Técnica	El sistema convencional es el menos discutible, ya que hay amplia experiencia en su aplicación. Efluentes decantados cumple con la reglamentación vigente aunque no es aceptado por malas experiencias a nivel local. El sistema condominial es el más discutido dada la poca experiencia en el país.
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	El sistema convencional es el menos vulnerable, mientras que efluentes decantados es el más vulnerable dado el tamaño mínimo de sus colectores. Condominial se considera intermedio, dado la posibilidad de que no se respete la restricción de edificación sobre el trazado de los colectores condominiales.
3	Operación y mantenimiento de la Red	La red de efluentes decantados presenta menor contenido de sólidos, por lo que requiere menor limpieza.
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	Se considera como mejor alternativa el sistema convencional, ya que todos los elementos se encontrarán en espacios públicos y servidumbres, facilitando la accesibilidad. En segundo lugar se considera condominial, ya que algunos elementos se encontrarán en predios privados y el

#	Subcriterio	Comentarios
		mantenimiento exigirá el ingreso a dichos predios. Por último se considera efluentes decantados ya que se deberá realizar el mantenimiento de la fosa séptica.
5	Tipo de tratamiento de efluentes recolectados	Dado que no se considera tratamiento, ninguna alternativa ofrece ventaja sobre otra.
6	Suministros de Tuberías	En cuanto a costos, los sistemas de efluentes decantados son los más baratos en suministro de tuberías seguidos de sistema condominial.
7	Colocación de Colectores	El sistema condominial permite trazados libres por toda la zona de proyecto, facilitando la cobertura por medio de las redes condominiales. El sistema convencional y efluentes decantados solo se proponen con colectores frentistas, aunque para efluentes decantados se tiene menores profundidades de excavación. Para convencional, la solución puede ser impracticable en algunos sectores, así como también efluentes decantados sea muy difícil la construcción de la fosa séptica.
8	Construcción o suministro de elementos singulares	Los elementos singulares más baratos se consideran los de efluentes decantados, seguidos del sistema condominial
9	Estaciones de bombeo	Dado que no se considera estación de bombeo, ninguna alternativa ofrece ventaja sobre otra.
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	Dado que la sanitaria interna domiciliar se debe regularizar en su totalidad en el marco del proyecto, el sistema condominial presenta más ventajas ya que la conexión no debe ser exclusivamente hacia el frente. Para efluentes decantados además se debe construir fosa séptica.
11	Uso de mano de obra no calificada	En este escenario se considera de igual calificación la mano de obra para construcción de sistema convencional y condominial. Para efluentes decantados, aunque la construcción de redes es sumamente sencilla, en contrario, se tiene la dificultad de construcción de la fosa séptica.
12	Participación de la comunidad	El sistema convencional no requiere participación de la comunidad más que se conecte al sistema y haga uso adecuado. Para el sistema condominial, ya que los colectores

#	Subcriterio	Comentarios
		condominiales son trazados por predios particulares, se debe considerar las relaciones interpersonales como un factor importante. Por último, efluentes decantados requiere una participación de la comunidad considerando el mantenimiento obligatorio de la fosa séptica.
13	Aceptación pública	Se considera que el sistema convencional es el mejor aceptado por todos los beneficiarios, mientras que efluentes decantados es el menos aceptado debido a que se debe intervenir su sanitaria interna así como mantener la fosa séptica domiciliaria.
14	Generación de residuos sólidos	La solución de efluentes decantados, además de los residuos de limpieza de red (que son de menor volumen que en las demás alternativas), se tiene la generación de lodo digerido en la fosa séptica domiciliaria.
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	Dado que todos los elementos de construcción del sistema convencional se instalan en espacio público, el riesgo a la salud de la población es menor que en las demás alternativas. Para sistema condominial, se considera mayor riesgo por la presencia de colectores y cámaras en predios de los usuarios. Por su parte, para efluentes decantados se presenta un riesgo mayor ya que se cuenta con la fosa séptica domiciliaria y los usuarios pueden tener contacto con los efluentes o lodos de la unidad.

A partir de la Tabla 5-14 anterior se presenta matriz de comparación de alternativas con puntuación en Tabla 5-15.

**Tabla 5-15 Matriz de Comparación de alternativas Escenario 2**

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1	1	3	1	5	5	3	5
Efluentes decantados	3	1	5	1	1	5	3	5	1	1	3	1	1	1	1
Condominial	1	3	3	3	1	3	5	3	1	5	1	3	3	3	3

Con lo anterior y la matriz de comparación de alternativas se tiene que para este escenario la solución más apropiada es la de Saneamiento Condominial, seguido de convencional. Ver Tabla 5-16.

**Tabla 5-16 Resultado de comparación de alternativas Escenario 2**

Alternativa	Puntaje
Condominial	42.5 %
Convencional	33.3 %
Efluentes decantados	24.1 %

Dado que el objetivo del proyecto era el aumento de cobertura, en contraste con la dificultad constructiva y de conectividad que presenta el lugar, la solución condominial sería la mejor opción.

#### **5.4. Escenario 3**

##### **5.4.1. Descripción**

El Escenario 3 (E3) presentado es un emprendimiento privado promovido por inversionistas. Se trata de un proyecto residencial con exclusividad, con unidades habitacionales privadas. Cada unidad habitacional cuenta con baño completo.

El proyecto será realizado de acuerdo a criterios de diseño actualizados y acorde al estado del arte de cada disciplina. El mismo será aprobado por las autoridades ambientales y departamentales correspondientes.

El área de intervención se encuentra dentro de un Área de Protección Ambiental, por lo que es necesario un correcto sistema de evacuación, tratamiento y conducción de los efluentes.

El abastecimiento de agua se realiza por medio de perforación, por lo que es importante garantizar la protección del acuífero.

Todos los servicios con los que se contará en el emprendimiento serán gestionados por personal propio o servicios privados contratados especialmente para la tarea que corresponda.

Dadas las condiciones anteriores, los inversionistas consideran que se deben realizar las obras e intervenciones necesarias para garantizar un servicio adecuado sin afectar el ambiente.

##### **5.4.2. Comparación de Criterios**

En primer lugar, al considerarse un emprendimiento privado, que será gestionado por personal propio o contratado, el sistema de recolección y tratamiento debe ser diseñado desde el punto de vista de aptitud técnica.

Por otro lado, por el tipo de emprendimiento se asume que los costos no son un factor limitante.

Dicho lo anterior, "costos" se considera un criterio menos importante que "técnicos".

Por último, dada la implantación dentro de un área protegida, el criterio ambiental pasa a ser de importancia muy fuerte. Ver Tabla 5-17.

**Tabla 5-17 Comparación de Criterios Escenario 3**

Criterios	Ponderación
Técnicos	18 %
Costos	7 %
Socio-ambientales	75 %

#### 5.4.3. Comparación de subcriterios técnicos

En cuanto a los criterios técnicos, debido a que es un proyecto privado con una red interna de saneamiento gestionada por los mismos emprendedores, el criterio de “Aceptación Técnica” es el menos importante.

En cuanto al resto de criterios, se considera que tanto “Operación y mantenimiento de la Red” como “Operación y mantenimiento de instalaciones” tienen la misma importancia al ser ejecutados por la misma figura, y a su vez son más importantes que su aprobación.

Los criterios “Vulnerabilidad ante uso inapropiado” y “Tipo de tratamiento de efluente recolectados” se consideran los más importantes en este conjunto para este escenario. Al tratarse de un emprendimiento residencial exclusivo, el sistema debe ser robusto e imperceptible para los usuarios, ya que cualquier falla es inaceptable debido a la alta inversión realizada.

Por último, se requerirá un sistema de tratamiento completo para garantizar un vertido adecuado de acuerdo a normativa. Ver Tabla 5-18.

**Tabla 5-18 Comparación de subcriterios técnicos Escenario 3**

Criterios	Ponderación
Aceptación Técnica	5 %
Vulnerabilidad ante uso inapropiado	25 %
Operación y mantenimiento de la Red	11 %
Operación y mantenimiento de instalaciones	11 %
Tipo de tratamiento de efluente recolectados	50 %

#### 5.4.4. Comparación de subcriterios de costos

El costo debido a “Colocación de Colectores” es mayor al costo de suministro de tuberías y al de cámaras de inspección, por lo que éste se considera más importante que los criterios vinculados a elementos singulares.

Los criterios “Suministros de Tuberías” y “Construcción o suministro de elementos singulares” se consideran de igual importancia entre ellos.

Al tratarse de un emprendimiento en etapa de proyecto, no se tiene inconveniente en contemplar que la sanitaria interna sea acorde con el sistema de recolección, como tampoco hay problemas con la conectividad de las viviendas, por lo que es el criterio menos importante.

El criterio de mayor importancia comparado con los demás ítems es “Estaciones de Bombeo”, debido a su alto costo de inversión y mantenimiento, así como la importancia de que no debería tener fallas. Ver Tabla 5-19.

**Tabla 5-19 Comparación de subcriterios Costos Escenario 3**

Criterios	Ponderación
Suministros de Tuberías	10,5 %
Colocación de Colectores	24 %
Construcción o Suministro de Elementos Singulares	10 %
Estaciones de bombeo	51 %
Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	4,5 %

#### 5.4.5. Comparación de subcriterios socio ambientales

En este conjunto se considera el criterio más importante “Riesgo de salud para operarios/usuarios”.

El sistema debe ser aceptado por los usuarios, quienes prefieren habitar en lugares donde las condiciones sanitarias y ambientales son satisfactorias, por lo que en segundo lugar se considera “Aceptación pública”

En tercer lugar de importancia se considera “Generación de residuos sólidos”. La implantación en un área protegida hace que cualquier acción que reduzca emisiones o minimice la afectación del ambiente sea importante.

Luego se tiene a la “participación de la comunidad”, ya que los usuarios de este sistema no se involucrarán más que en el correcto uso del sistema.

Por último en importancia se considera la “Posibilidad de uso de mano de obra no calificada”, ya que no se tiene en cuenta para la obra. Ver Tabla 5-20.

**Tabla 5-20 Comparación de subcriterios socio ambientales Escenario 3**

Criterios	Ponderación
Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	4 %
Participación de la comunidad	8 %
Aceptación pública	36 %

Criterios	Ponderación
Generación de residuos sólidos	16 %
Riesgo de salud para operarios/usuarios	36 %

#### 5.4.6. Resultado

En la Tabla 5-21 se presenta el orden de importancia de todos los criterios.

**Tabla 5-21 Jerarquización de subcriterios Escenario 3**

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	5 %	18 %	1 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	25 %	18 %	4 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	11 %	18 %	2 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	11 %	18 %	2 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	50 %	18 %	9 %
6	Suministros de Tuberías	10 %	7 %	1 %
7	Colocación de Colectores	24 %	7 %	2 %
8	Construcción o suministro de elementos singulares	10 %	7 %	1 %
9	Estaciones de bombeo	51 %	7 %	4 %
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	4 %	7 %	0 %
11	Uso de mano de obra No calificada	4 %	75 %	3 %
12	Participación de la comunidad	8 %	75 %	6 %
13	Aceptación pública	36 %	75 %	27 %
14	Generación de residuos sólidos	16 %	75 %	12 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	36 %	75 %	27 %

Los criterios más importantes son “Riesgo de salud para operarios/usuarios” junto a “Aceptación pública” 27 % y seguidos de “Generación de Residuos” 12 %. El resto de los criterios presentan un % de importante menor al 10 %. Los criterios con mayor importancia son los socio-ambientales. Estos resultados son coherentes con las premisas del proyecto (escenario):

- Brindar un servicio de saneamiento de calidad a la población, con prioridad en el cuidado del medio.
- Población a atender con alto nivel de exigencia.

### 5.4.7. Jerarquización de Alternativas

En la Tabla 5-22 se analiza la jerarquización de alternativas para el escenario.

**Tabla 5-22 Comparación de Alternativas Escenario 3**

#	Subcriterio	Comentarios
1	Aceptación Técnica	El sistema convencional es el menos discutible, ya que hay amplia experiencia en su aplicación. Efluentes decantados cumple con la reglamentación vigente aunque no es aceptado por malas experiencias a nivel local. El sistema condominial es el más discutido dada la poca experiencia en el país.
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	El sistema convencional es el menos vulnerable, mientras que efluentes decantados es el más vulnerable dado el tamaño mínimo de sus colectores. Condominial se considera intermedio, dado la posibilidad de que no se respete la restricción de edificación sobre el trazado de los colectores condominiales, aunque en este escenario no debería ser permitido.
3	Operación y mantenimiento de la Red	La red de efluentes decantados presenta menor contenido de sólidos, por lo que requiere menor limpieza.
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	Se considera como mejor alternativa el sistema convencional, ya que todos los elementos se encontrarán en espacios públicos y servidumbres, facilitando la accesibilidad. En segundo lugar se considera condominial, ya que algunos elementos se encontrarán en predios privados y el mantenimiento exigirá el ingreso a dichos predios. Por último se considera efluentes decantados ya que se deberá realizar el mantenimiento de la fosa séptica.
5	Tipo de tratamiento de efluentes recolectados	El sistema de efluentes decantados hace que no sea necesario contar con etapa de pretratamiento o tratamiento primario en el Sistema de Tratamiento Colectivo.
6	Suministros de Tuberías	En cuanto a costos, los sistemas de efluentes decantados son los más baratos en suministro de tuberías, seguidos del sistema condominial.
7	Colocación de Colectores	Se considera que efluentes decantados presenta los menores costos en cuanto a Colocación de Colectores debido a menor

#	Subcriterio	Comentarios
		excavación, seguidos por el sistema condominial.
8	Construcción o suministro de elementos singulares	Los elementos singulares más baratos se consideran los de efluentes decantados, seguidos de los del sistema condominial
9	Estaciones de bombeo	Para la solución de efluentes decantados se puede reducir la cantidad de las estaciones, ya que se realizan trasvases de cuenca con tubos en contrapendiente, así como reducir la profundidad de las mismas. En sistemas condominiales se puede reducir la profundidad de estación de bombeo.
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	El sistema condominial no requiere adecuación de la sanitaria interna, mientras que para convencional debe contar con descarga hacia el frente del predio. Para efluentes decantados, además de modificar sanitaria para descarga a frente, se requiere la construcción de fosa séptica domiciliaria.
11	Uso de mano de obra no calificada	La obra y operación se realizará por emprendimiento privado, por lo que se considera a efluentes decantados como la mejor opción para uso de mano de obra no calificada, asumiendo supervisión en la construcción de la fosa séptica, seguido de condominial.
12	Participación de la comunidad	El sistema convencional no requiere participación de la comunidad más que se conecte al sistema y haga uso adecuado. Para el sistema condominial, ya que los colectores condominiales son trazados por predios particulares, se debe considerar las relaciones interpersonales como un factor importante. Por último, efluentes decantados requiere una participación de la comunidad considerando el mantenimiento obligatorio de la fosa séptica.
13	Aceptación pública	Se considera que el sistema convencional es el mejor aceptado por todos los beneficiarios, mientras que efluentes decantados es el menos aceptado debido a que se debe mantener la fosa séptica domiciliaria.
14	Generación de residuos sólidos	La solución de efluentes decantados, además de los residuos de limpieza de red (que son de menor volumen que en las demás alternativas), se tiene la generación de lodo

#	Subcriterio	Comentarios
		digerido en la fosa séptica domiciliaria.
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	Dado que todos los elementos de construcción del sistema convencional se instalan en espacio público, el riesgo a la salud de población es menor que en las demás alternativas. Para sistema condominial, se considera mayor riesgo por la presencia de colectores y cámaras en predios de los usuarios. Por su parte, para efluentes decantados se presenta un riesgo mayor, ya que se cuenta con la fosa séptica domiciliaria y los usuarios pueden tener contacto con los efluentes o lodos de la unidad.

A partir de la tabla anterior se presenta matriz de comparación de alternativas con puntuación en la Tabla 5-23.

**Tabla 5-23 Matriz de Comparación de alternativas Escenario 3**

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1	1	3	1	3	5	3	5
Efluentes decantados	3	1	5	1	3	5	5	5	5	1	5	1	1	1	1
Condominial	1	3	3	3	1	3	3	3	1	5	3	3	3	3	3

Las características del emprendimiento y los usuarios solicitan una solución que satisfaga sus necesidades de forma desapercibida, por lo que se busca minimizar la operación y mantenimiento con una solución robusta, y que no interfiera con los miembros de la comunidad.

Con lo anterior y la matriz de comparación de alternativas se tiene que para este escenario la solución más apropiada es la de Saneamiento convencional, seguido de Condominial. Ver resultado en Tabla 5-24.

**Tabla 5-24 Resultado de comparación de alternativas Escenario 3**

Alternativa	Puntaje
Convencional	45.2 %
Condominial	32.9 %
Efluentes decantados	21.9 %

## 5.5. Escenario 4

### 5.5.1. Descripción

El Escenario 4 (E4) se considera una zona rural con actividad agrícola de pequeños productores, donde se tiene un conjunto de viviendas aglomeradas con una densidad menor a 10 viviendas/ha.

Se ha conformado una comunidad muy unida y emprendedora, que ha trabajado desde su establecimiento en contar con todas las necesidades básicas satisfechas, y ha demandado el servicio de saneamiento a las autoridades nacionales.

Actualmente se cuenta con sistemas estáticos (depósitos filtrantes).

Aunque no se trata de una prioridad, ante la presión ejercida por la comunidad, la administración central promueve el proyecto con la consigna de minimizar costos de inversión y mantenimiento.

De acuerdo a estudios básicos, los efluentes recolectados serán tratados por medio de un sistema de lagunaje y serán reutilizados.

Dentro del proyecto, la componente social es de suma importancia, donde se tiene el compromiso total de la comunidad beneficiaria en todas las etapas.

### 5.5.2. Comparación de Criterios

Dado que la consigna establecida por las autoridades para la ejecución del proyecto era la reducción de costos de inversión, en este caso se considera como muy importante el criterio “costos” así como el “socio-ambiental”. El éxito del proyecto tiene un fuerte componente social.

El criterio “técnico” se considera el menos importante, ya que la propuesta será técnicamente admisible y no sería inconveniente. Ver tabla Tabla 5-25.

**Tabla 5-25 Comparación de Criterios Escenario 4**

Criterios	Ponderación
Técnicos	9.0 %
Costos	45.5 %
Socio-ambientales	45.5 %

### 5.5.3. Comparación de subcriterios técnicos

Para los subcriterios técnicos se considera como los más importantes “vulnerabilidad ante uso inapropiado” y “Tipo de tratamiento de efluente recolectados”, ya que se deberá contar con un sistema de tratamiento adecuado.

Luego, “Operación y mantenimiento de la Red” y “Operación y mantenimiento de instalaciones”. Esto último se asume dado que se tratará de un sistema descentralizado. Un nivel menor en importancia se considera “

Como criterio menos importante se considera “Aceptación Técnica”, ya que se asume que el diseño y construcción será de acuerdo a lo recomendado. Ver Tabla 5-26.

**Tabla 5-26 Comparación de subcriterios técnicos Escenario 4**

Criterios	Ponderación
Aceptación Técnica	6 %
Vulnerabilidad ante uso inapropiado	34 %
Operación y mantenimiento de la Red	13 %
Operación y mantenimiento de instalaciones	13 %
Tipo de tratamiento de efluente recolectados	34 %

#### 5.5.4. Comparación de subcriterios de costos

Dado que se deben reducir los costos de inversión y mantenimiento, el criterio de mayor importancia es “Estaciones de Bombeo”, debido a su alto costo comparado con los demás subcriterios.

El costo debido a “Colocación de Colectores” es mayor al costo de suministro de tuberías y al de cámaras de inspección “Suministros de Tuberías” y “Construcción o suministro de elementos singulares”. Estos dos últimos se consideran de igual importancia.

El criterio menos importante es “Adecuación de Sanitaria interna/conectividad”, ya que aunque se debe acondicionar la sanitaria de cada vivienda para realizar la conexión, este costo se considera menor al de suministro e instalación de tuberías y elementos singulares. Ver Tabla 5-27.

**Tabla 5-27 Comparación de subcriterios Costos Escenario 4**

Criterios	Ponderación
Suministros de Tuberías	9 %
Colocación de Colectores	20 %
Construcción o Suministro de Elementos Singulares	9 %
Estaciones de bombeo	58 %
Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	4 %

### 5.5.5. Comparación de subcriterios socio ambientales

Se considera el criterio más importante “Riesgo de salud para operarios/usuarios”, como objetivo principal del proyecto, y de igual en importancia se considera “Participación de la comunidad”, dado que el éxito del proyecto se apoya en este factor.

La participación de la comunidad hace que se deba considerar el “uso de mano de obra no calificada” durante la etapa de obra, por lo que se considera segundo en importancia.

Luego se considera “generación de residuos sólidos”, ya que al ser una zona rural y un sistema gestionado por la misma comunidad rural, el manejo de residuos se puede considerar una tarea diaria como otras actividades agrícolas.

Último en importancia se considera “aceptación pública”. Dada la demanda de la comunidad y la necesidad de contar con una solución para la recolección de los efluentes, se asume que cualquiera de las soluciones será bienvenida y aceptada. Ver Tabla 5-28.

**Tabla 5-28 Comparación de subcriterios socio ambientales Escenario 4**

Criterios	Ponderación
Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	15 %
Participación de la comunidad	35 %
Aceptación pública	4 %
Generación de residuos sólidos	7 %
Riesgo de salud para operarios/usuarios	39 %

### 5.5.6. Resultado

En la Tabla 5-29 se presenta el orden de importancia de todos los criterios.

**Tabla 5-29 Jerarquización de subcriterios Escenario 4**

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	6 %	9.1 %	1 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	34 %	9.1 %	3 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	13 %	9.1 %	1 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	13 %	9.1 %	1 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	34 %	9.1 %	3 %
6	Suministros de Tuberías	9 %	45.5 %	4 %

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
7	Colocación de Colectores	20 %	45.5 %	9 %
8	Construcción o suministro de elementos singulares	9 %	45.5 %	4 %
9	Estaciones de bombeo	58 %	45.5 %	27 %
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	4 %	45.5 %	2 %
11	Uso de mano de obra No calificada	15 %	45.5 %	7 %
12	Participación de la comunidad	35 %	45.5 %	16 %
13	Aceptación pública	4 %	45.5 %	2 %
14	Generación de residuos sólidos	7 %	45.5 %	3 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	39 %	45.5 %	18 %

El criterio más importante es “Estaciones de Bombeo” 27 %, seguido de “Riesgo de salud para operarios/usuarios” con 18 % y “Participación de la comunidad” 16 %. El resto de los criterios presentan un % de importancia menor al 10 %.

### 5.5.7. Jerarquización de Alternativas

En la Tabla 5-30 se analiza la jerarquización de alternativas para este escenario.

**Tabla 5-30 Comparación de Alternativas Escenario 4**

#	Subcriterio	Comentarios
1	Aceptación Técnica	El sistema convencional es el menos discutible, ya que hay amplia experiencia en su aplicación. Efluentes decantados cumple con la reglamentación vigente aunque no es aceptado por malas experiencias a nivel local. El sistema condominial es el más discutido dada la poca experiencia en el país.
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	El sistema convencional es el menos vulnerable, mientras que efluentes decantados es el más vulnerable dado el tamaño mínimo de sus colectores.
3	Operación y mantenimiento de la Red	La red de efluentes decantados presenta menor contenido de sólidos, por lo que requiere menor limpieza.
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	Se considera como mejor alternativa sistema convencional, ya que todos los elementos se encontrarán en espacios públicos y

#	Subcriterio	Comentarios
		servidumbres, facilitando la accesibilidad. En segundo lugar se considera condominial, ya que algunos elementos se encontrarán en predios privados y el mantenimiento exigirá el ingreso a dichos predios. Por último se considera efluentes decantados ya que se deberá realizar el mantenimiento de la fosa séptica.
5	Tipo de tratamiento de efluentes recolectados	El sistema de efluentes decantados hace que no sea necesario contar con etapa de pretratamiento o tratamiento primario en Sistema de Tratamiento Colectivo, inclusive reduciendo la superficie de lagunas a utilizar.
6	Suministros de Tuberías	En cuanto a costos, los sistemas de efluentes decantados son los más baratos en suministro de tuberías seguidos de sistema condominial.
7	Colocación de Colectores	Se considera que efluentes decantados presenta los menores costos en cuanto a Colocación de Colectores debido a menor excavación, seguido por sistema condominial.
8	Construcción o suministro de elementos singulares	Los elementos singulares más baratos se consideran los de efluentes decantados seguidos de los de sistema condominial.
9	Estaciones de bombeo	Para la solución de efluentes decantados se puede reducir la cantidad de las estaciones, ya que se realizan trasvases de cuenca con tubos en contrapendiente, así como reducir la profundidad de las mismas.
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	El sistema condominial no requiere adecuación de la sanitaria interna, mientras que para convencional debe contar con descarga hacia el frente del predio. El sistema condominial ofrece mayor facilidad para la conexión domiciliaria dado su trazado libre a través de predios privados. Para efluentes decantados, además de modificar sanitaria para descarga a frente, se requiere la construcción de fosa séptica domiciliaria.
11	Uso de mano de obra no calificada	El sistema de efluentes decantados permite el uso de mano de obra menos calificada, dado sus requerimientos constructivos menos estrictos, aunque se debe supervisar la construcción de las fosas sépticas. En cuanto al sistema condominial, la construcción de colectores pueden ser

#	Subcriterio	Comentarios
		<p>realizadas por personal sin capacitación bajo supervisión.</p> <p>En el sistema convencional dado sus características constructivas no es recomendable el uso de mano de obra no calificada.</p>
12	Participación de la comunidad	<p>El sistema convencional no requiere participación de la comunidad más que se conecte al sistema y haga uso adecuado. Para el sistema condominial, ya que los colectores condominiales son trazados por predios particulares, se debe considerar las relaciones interpersonales como un factor importante.</p> <p>Por último, efluentes decantados requiere una participación de la comunidad considerando el mantenimiento obligatorio de la fosa séptica.</p>
13	Aceptación pública	<p>Se considera que el sistema convencional es el mejor aceptado por todos los beneficiarios, mientras que efluentes decantados es el menos aceptado debido a que se debe intervenir su sanitaria interna así como mantener la fosa séptica domiciliaria.</p>
14	Generación de residuos sólidos	<p>La solución de efluentes decantados, además de los residuos de limpieza de red (que son de menor volumen que en las demás alternativas), tiene la generación de lodo digerido en la fosa séptica domiciliaria.</p>
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	<p>Dado que todos los elementos de construcción del sistema convencional se instalan en espacio público, el riesgo a la salud de población es menor que las demás alternativas. Para el sistema condominial, se considera mayor riesgo por la presencia de colectores y cámaras en predios de los usuarios. Por su parte, para efluentes decantados se presenta un riesgo mayor ya que se cuenta con la fosa séptica domiciliaria y los usuarios pueden tener contacto con los efluentes o lodos de la unidad.</p>

**A partir de la Tabla 5-30 se presenta la matriz de comparación de alternativas con puntuación en**

Tabla 5-31.

**Tabla 5-31 Matriz de Comparación de alternativas Escenario 4**

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1	1	3	1	1	5	3	5
Efluentes decantados	3	1	5	1	5	5	5	5	5	1	3	3	1	1	1
Condominial	1	3	3	3	1	3	3	3	1	5	3	3	3	3	3

En este escenario se busca la mejor solución a menor costo de inversión así como de operación y mantenimiento. El compromiso de la comunidad ofrece un plus, ya sea en su consideración para la construcción del sistema, como en el involucramiento social para el uso del servicio.

De acuerdo a lo mencionado, en la matriz de comparación de alternativas se tiene que para este escenario la solución más apropiada es la de Saneamiento de Efluentes decantados, seguido de Condominial. Ver Tabla 5-32.

**Tabla 5-32 Resultado de comparación de alternativas Escenario 4**

Alternativa	Puntaje
Efluentes decantados	44.5 %
Condominial	30.4 %
Convencional	25.1 %

## 5.6. Escenario 5

### 5.6.1. Descripción

El Escenario 5 (E5) se considera una zona balnearia con ocupación permanente de residentes.

El saneamiento se realiza por medio de depósitos filtrantes individuales. La población se abastece por medio de perforaciones, las cuales presentan mala calidad desde el punto de vista bacteriológico por la contaminación procedente de saneamiento estático.

Las condiciones físicas de la zona presentan bajas pendientes de escurrimiento así como terreno arenoso con alta napa freática.

Se cuenta con una comisión de fomento del balneario con una presencia fuerte en la comunidad, sobre todo en actividades sociales y de protección del ambiente, la cual ha promovido el estudio de alternativas para la construcción de un sistema de recolección y tratamiento de los efluentes domésticos. A su vez, la propia comisión

de fomento ha manifestado su interés en participar para garantizar el éxito del proyecto.

### 5.6.2. Comparación de Criterios

Para este escenario se consideran los criterios de “costos” y “socio-ambiental” por encima de los criterios “técnicos”.

El objetivo principal del proyecto es reducir la contaminación de las aguas subterráneas y proteger a la población que utiliza estas fuentes de agua.

Asumiendo que todas las alternativas son técnicamente válidas y ambientalmente aceptables, se considera más importante el criterio “costos” sobre los “técnicos”, ya que estos definirán la solución a implementar. Ver Tabla 5-33.

**Tabla 5-33 Comparación de Criterios Escenario 5**

Criterios	Ponderación
Técnicos	9,0 %
Costos	45,5 %
Socio-ambientales	45,5 %

### 5.6.3. Comparación de subcriterios técnicos

Para los subcriterios técnicos se considera más importante “vulnerabilidad ante uso inapropiado” y “Tipo de tratamiento de efluente recolectados”, ya que este debe ser tal que minimice la contaminación de aguas superficiales y subterráneas.

Posteriormente se considera “Operación y mantenimiento de la Red” y “Operación y mantenimiento de instalaciones”.

Como criterio menos importante se considera “Aceptación Técnica” ya que las características particulares del lugar implican que se busque una solución adecuada al mismo, y no viceversa. Ver Tabla 5-34.

**Tabla 5-34 Comparación de subcriterios técnicos Escenario 5**

Criterios	Ponderación
Aceptación Técnica	6 %
Vulnerabilidad ante uso inapropiado	34 %
Operación y mantenimiento de la Red	13 %
Operación y mantenimiento de instalaciones	13 %
Tipo de tratamiento de efluente recolectados	34 %

#### 5.6.4. Comparación de subcriterios de costos

De igual manera que en escenarios anteriores, se deben reducir los costos de inversión y mantenimiento; el criterio de mayor importancia es “Estaciones de Bombeo”, debido a su alto costo comparado con los demás subcriterios.

El costo debido a “Colocación de Colectores” se considera de igual importancia que estaciones de bombeo, dado las características constructivas frente a las que se hará el proyecto (napa freática elevada, suelo arenoso).

Por debajo, y de igual en importancia, se considera “Suministros de Tuberías” y “Construcción o suministro de elementos singulares”.

El criterio menos importante es “Adecuación de Sanitaria interna/conectividad”, ya que aunque se debe acondicionar la sanitaria de cada vivienda para realizar la conexión, este costo se considera menor al de suministro e instalación de tuberías y elementos singulares. Ver Tabla 5-35.

**Tabla 5-35 Comparación de subcriterios Costos Escenario 5**

Criterios	Ponderación
Suministros de Tuberías	7 %
Colocación de Colectores	41 %
Construcción o Suministro de Elementos Singulares	7 %
Estaciones de bombeo	41 %
Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	3 %

#### 5.6.5. Comparación de subcriterios socio ambientales

Se considera el criterio más importante “Riesgo de salud para operarios/usuarios”, sobre todo debido a la situación actual de contaminación de las fuentes de agua. Por debajo en importancia se considera “Participación de la comunidad”, dado su interés de involucrarse en el proyecto.

Luego se considera “Posibilidad de uso de mano de obra no calificada”, ya que al tratarse de un balneario, debería evaluarse el uso de mano de obra local, y “generación de residuos sólidos”, ya que la gestión de éstos sería un aspecto importante, buscando su minimización y correcta disposición.

Menos importante que los criterios anteriores se considera “aceptación pública”. Dado la demanda de la población y la necesidad de contar con una solución para reducir la contaminación, se asume que cualquiera de las soluciones será bienvenida y aceptada. Ver Tabla 5-36.

**Tabla 5-36 Comparación de subcriterios socio ambientales Escenario 5**

Criterios	Ponderación
-----------	-------------

Criterios	Ponderación
Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	10.53 %
Participación de la comunidad	24.54 %
Aceptación pública	4.69 %
Generación de residuos sólidos	10.53 %
Riesgo de salud para operarios/usuarios	49.71 %

### 5.6.6. Resultado

En la

Tabla 5-37 se presenta el orden de importancia de todos los criterios.

**Tabla 5-37 Jerarquización de subcriterios Escenario 5**

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	6 %	9 %	1 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	34 %	9 %	3 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	13 %	9 %	1 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	13 %	9 %	1 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	34 %	9 %	3 %
6	Suministros de Tuberías	7 %	45 %	3 %
7	Colocación de Colectores	41 %	45 %	19 %
8	Construcción o suministro de elementos singulares	7 %	45 %	3 %
9	Estaciones de bombeo	41 %	45 %	19 %
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	3 %	45 %	2 %
11	Uso de mano de obra No calificada	11 %	45 %	5 %
12	Participación de la comunidad	25 %	45 %	11 %
13	Aceptación pública	5 %	45 %	2 %
14	Generación de residuos sólidos	11 %	45 %	5 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	50 %	45 %	23 %

El criterio más importante es “Riesgo de salud para operarios/usuarios” con 23 % seguido de “Estaciones de Bombeo” y “Colocación de Colectores” 19 %, y “Participación de la comunidad” 11 %. El resto de los criterios presentan un % de importancia menor al 10 %. Los criterios con mayor % son los criterios de costos y sociales.

### 5.6.7. Jerarquización de Alternativas

En la Tabla 5-38 se analiza la jerarquización de alternativas para el escenario.

**Tabla 5-38 Comparación de Alternativas Escenario 5**

#	Subcriterio	Comentarios
1	Aceptación Técnica	El sistema convencional es el menos discutible, ya que hay amplia experiencia en su aplicación. Efluentes decantados cumple con la reglamentación vigente aunque no es aceptado por malas experiencias a nivel local. El sistema condominial es el más discutido dada la poca experiencia en el país.
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	El sistema convencional es el menos vulnerable, mientras que efluentes decantados es el más vulnerable dado el tamaño mínimo de sus colectores.
3	Operación y mantenimiento de la Red	La red de efluentes decantados presenta menor contenido de sólidos, por lo que requiere menor limpieza.
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	Se considera como mejor alternativa el sistema convencional, ya que todos los elementos se encontrarán en espacios públicos y servidumbres, facilitando la accesibilidad. En segundo lugar se considera el sistema condominial, ya que algunos elementos se encontrarán en predios privados y el mantenimiento exigirá el ingreso a dichos predios. Por último se considera efluentes decantados, ya que se deberá realizar el mantenimiento de la fosa séptica.
5	Tipo de tratamiento de efluentes recolectados	El sistema de efluentes decantados hace que no sea necesario contar con etapa de pretratamiento o tratamiento primario en Sistema de Tratamiento Colectivo, inclusive reduciendo la superficie del sistema de tratamiento a utilizar.
6	Suministros de Tuberías	En cuanto a costos, los sistemas de

#	Subcriterio	Comentarios
		efluentes decantados son los más baratos en suministro de tuberías, seguidos del sistema condominial.
7	Colocación de Colectores	Se considera que efluentes decantados es el sistema más apto para construcción en un terreno con suelo arenoso, napa freática alta (baja excavación, baja pendiente, pocos elementos singulares).
8	Construcción o suministro de elementos singulares	Los elementos singulares más baratos se consideran los de efluentes decantados seguidos de los del sistema condominial.
9	Estaciones de bombeo	Para la solución de efluentes decantados se puede reducir la cantidad de estaciones, ya que se realizan trasvases de cuenca con tubos en contrapendiente, así como reducir la profundidad de las mismas.
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	El sistema condominial no requiere adecuación de la sanitaria interna, mientras que para convencional debe contar con descarga hacia el frente del predio. Para efluentes decantados, además de modificar la sanitaria para descargar al frente, se requiere la construcción de fosa séptica domiciliaria. El sistema condominial ofrece mayor facilidad para la conexión domiciliaria dado su trazado libre a través de predios privados.
11	Uso de mano de obra no calificada	Dadas las características de la obra, no es recomendable el uso de mano de obra no calificada, aunque se puede considerar que para el sistema de efluentes decantados las profundidades de excavación son bajas y permite uso de mano de obra de menor calificación bajo supervisión.
12	Participación de la comunidad	El sistema convencional no requiere participación de la comunidad más que se conecte al sistema y haga uso adecuado. Para el sistema condominial, ya que los colectores condominiales son trazados por predios particulares, se debe considerar las relaciones interpersonales como un factor importante.

#	Subcriterio	Comentarios
		Por último, efluentes decantados requiere la participación de la comunidad considerando el mantenimiento obligatorio de la fosa séptica.
13	Aceptación pública	Se considera que el sistema convencional es el mejor aceptado por todos los beneficiarios, mientras que efluentes decantados es el menos aceptado debido a que se debe intervenir su sanitaria interna así como mantener la fosa séptica domiciliaria.
14	Generación de residuos sólidos	En la solución de efluentes decantados, además de los residuos de limpieza de red (que son de menor volumen que en las demás alternativas), se tiene la generación de lodo digerido en la fosa séptica domiciliaria.
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	Dado que todos los elementos de construcción del sistema convencional se instalan en espacios públicos, el riesgo a la salud de población es menor que en las demás alternativas. Para el sistema condominial, se considera el mayor riesgo por la presencia de colectores y cámaras en predios de los usuarios. Por su parte, para efluentes decantados se presenta un riesgo mayor ya que se cuenta con la fosa séptica domiciliaria y los usuarios pueden tener contacto con los efluentes o lodos de la unidad.

A partir de la Tabla 5-38 se presenta la matriz de comparación de alternativas con puntuación en Tabla 5-39.

**Tabla 5-39 Matriz de Comparación de alternativas Escenario 5**

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1	1	3	1	1	5	3	5
Efluentes decantados	3	1	5	1	3	5	5	5	5	1	3	5	1	1	1
Condominial	1	3	3	3	1	3	3	3	1	5	1	3	3	3	3

Con lo anterior y la matriz de comparación de alternativas se tiene que para este escenario la solución más apropiada es la de Saneamiento de Efluentes decantados, seguido de condominial.

El resultado refleja, en primer lugar, las dificultades constructivas en un lugar con napa alta y baja pendiente, así como la hipótesis de asumir que los usuarios estarán comprometidos con la solución y realizarán un correcto uso de las instalaciones asumiendo su responsabilidad para el mantenimiento de la fosa séptica domiciliaria. Ver Tabla 5-40.

**Tabla 5-40 Resultado de comparación de alternativas Escenario 5**

Alternativa	Puntaje
Efluentes decantados	43.1 %
Convencional	27.6 %
Condominial	29.4 %

## **5.7. Escenario 6**

### **5.7.1. Descripción**

Se realizó una ampliación de red de saneamiento mediante la construcción de una cuenca con interceptor, cuyos efluentes son conducidos hacia la cuenca principal por gravedad. La tecnología de tratamiento utilizada fue sistema convencional.

Para la interconexión entre cuencas, sin uso de estación de bombeo, el nivel de zampeado del interceptor estaba definido y no podía ser modificado.

Parte de la zona de proyecto cuenta con una gran pendiente de escurrimiento hacia el cauce principal de la cuenca, por lo que para algunos predios era inviable la conexión a colector frentista. En caso contrario, implicaba un aumento de la profundidad del interceptor y la imposibilidad de conexión a la cuenca principal, por lo que se optó por no considerar dichas viviendas en el proyecto inicial. Esta decisión ha generado un malestar importante en la población no beneficiada.

El Escenario 6 (E6) evalúa la conexión al sistema de saneamiento de dicha zona.

Se cuenta con un factor de ocupación de terreno menor al 50 %, por lo que se tienen espacios libres dentro de los predios privados. También, por costumbre de la población, se han generado sendas peatonales interiores irregulares para disminuir los trayectos a caminar de un sitio a otro dentro de la zona.

### **5.7.2. Comparación de Criterios**

Tal como se mencionó en el Escenario 2, asumiendo que cualquier solución es técnicamente admisible y con beneficios sociales y ambientales adecuados, se considera más importante el criterio “costos” sobre los criterios “técnicos” y “socio-ambientales”. Ver Tabla 5-41.

**Tabla 5-41 Comparación de Criterios Escenario 6**

Criterios	Ponderación
Técnicos	20 %
Costos	60 %
Socio-ambientales	20 %

### 5.7.3. Comparación de subcriterios técnicos

En este escenario se tiene a los criterios más importantes en este grupo como “Aceptación Técnica”, y por debajo, “Vulnerabilidad ante uso inapropiado”.

La operación y mantenimiento no implican un aumento del volumen de trabajo ya asociado al sistema principal, por lo que se consideran iguales y un nivel más abajo en importancia con respecto a los criterios anteriores.

Al no ser necesario un sistema de tratamiento, este criterio es el de menor importancia. Ver Tabla 5-42.

**Tabla 5-42 Comparación de subcriterios técnicos Escenario 6**

Criterios	Ponderación
Aceptación Técnica	49 %
Vulnerabilidad ante uso inapropiado	26 %
Operación y mantenimiento de la Red	11 %
Operación y mantenimiento de instalaciones	11 %
Tipo de tratamiento de efluente recolectados	3 %

### 5.7.4. Comparación de subcriterios de costos

Dado los antecedentes del proyecto, el criterio de mayor importancia es “Estaciones de Bombeo”, debido a su alto costo comparado con los demás subcriterios.

De igual importancia se considera “Adecuación de Sanitaria interna/conectividad”, ya que se debe garantizar la conectividad de todas las viviendas.

El criterio “Colocación de Colectores” se tiene en tercera posición en importancia junto a “Construcción o suministro de elementos singulares”. Esto es debido a las dificultades que presenta el terreno con fuertes pendientes y en cuanto a conectividad, lo que aumenta la profundidad de colectores como la cantidad de elementos singulares (se debe evitar fuertes pendientes de colector con cámaras con salto).

Por último en importancia, se tiene “Suministros de Tuberías” siendo los costos menores dentro del proyecto. Ver Tabla 5-43.

**Tabla 5-43 Comparación de subcriterios Costos Escenario 6**

Criterios	Ponderación
Suministros de Tuberías	4.6 %
Colocación de Colectores	17.3 %
Construcción o Suministro de Elementos Singulares	4.6 %
Estaciones de bombeo	36.7 %
Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	36.7 %

### 5.7.5. Comparación de subcriterios socio ambientales

Se considera el criterio más importante “Riesgo de salud para operarios/usuarios”, siendo el objetivo de la ampliación del sistema la protección de la salud de la población de la zona.

Segundo en importancia se considera “aceptación pública”. Debido al antecedente de no ser incluidos en la instancia anterior de obras, la población de la zona se encuentra molesta con la administración pública, y no aceptará cualquier solución, como tampoco colaborará en ninguna instancia del proyecto de ampliación.

Finalmente se considera “Participación de la comunidad”, “Uso de mano de obra No calificada” y “Generación de residuos sólidos”. En cuanto a participación, solo se considera que se realice la conexión y correcto uso. En cuanto a mano de obra no calificada, no será considerada porque el proyecto será ejecutado por administración pública. Por último, la generación de residuos no alterará la operativa existente del sistema principal. Ver Tabla 5-44.

**Tabla 5-44 Comparación de subcriterios socio ambientales Escenario 6**

Criterios	Ponderación
Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	8 %
Participación de la comunidad	8 %
Aceptación pública	31 %
Generación de residuos sólidos	8 %
Riesgo de salud para operarios/usuarios	46 %

### 5.7.6. Resultado

En la Tabla 5-45 se presenta el orden de importancia de todos los criterios.

**Tabla 5-45 Jerarquización de subcriterios Escenario 6**

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
---	-------------	------------------	---------------------	-------------------

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	50 %	20 %	10 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	25 %	20 %	5 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	11 %	20 %	2 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	11 %	20 %	2 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	3 %	20 %	1 %
6	Suministros de Tuberías	4 %	60 %	2 %
7	Colocación de Colectores	20 %	60 %	8 %
8	Construcción o suministro de elementos singulares	9 %	60 %	8 %
9	Estaciones de bombeo (diseño, construcción, Mano de Obra)	46 %	60 %	21 %
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	20 %	60 %	21 %
11	Uso de mano de obra No calificada	6 %	20 %	2 %
12	Participación de la comunidad	6 %	20 %	2 %
13	Aceptación pública	28 %	20 %	6 %
14	Generación de residuos sólidos	6 %	20 %	2 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	52 %	20 %	9 %

El criterio más importante es “Estaciones de Bombeo” junto a “Adecuación de Sanitaria interna/conectividad” 22 %, luego “Aceptación Técnica” y “Colocación de Colectores” con 10 %. Los criterios con mayor prioridad son los criterios de costos.

### 5.7.7. Jerarquización de Alternativas

En la Tabla 5-46 se analiza la jerarquización de alternativas para el escenario.

**Tabla 5-46 Comparación de Alternativas Escenario 6**

#	Subcriterio	Comentarios
1	Aceptación Técnica	El sistema convencional es el menos discutible, ya que hay amplia experiencia en su aplicación. Efluentes decantados cumple con reglamentación vigente aunque no es aceptado por malas experiencias a nivel local. El sistema condominial es el más discutido

#	Subcriterio	Comentarios
		dada la poca experiencia en el país.
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	El sistema convencional es el menos vulnerable, mientras que efluentes decantados es el más vulnerable dado el tamaño mínimo de sus colectores.
3	Operación y mantenimiento de la Red	La red de efluentes decantados transporta menor contenido de sólidos, por lo que requiere menor limpieza.
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	En este escenario no hay diferencias entre alternativas, ya que todos los elementos se deberán ubicar sobre vía pública. En el caso de efluentes decantados, se debe considerar además la limpieza y mantenimiento de la Fosa séptica.
5	Tipo de tratamiento de efluentes recolectados	Dado que no se considera tratamiento, ninguna alternativa ofrece ventaja sobre otra.
6	Suministros de Tuberías	Se considera como mejor alternativa el sistema convencional, ya que todos los elementos se encontrarán en espacios públicos y servidumbres, facilitando la accesibilidad. En segundo lugar se considera el sistema condominial, ya que algunos elementos se encontrarán en predios privados y el mantenimiento exigirá el ingreso a dichos predios. Por último se considera efluentes decantados ya que se deberá realizar el mantenimiento de la fosa séptica.
7	Colocación de Colectores	El sistema condominial permite trazados libres por toda la zona de proyecto, facilitando la cobertura por medio de las redes condominiales a profundidades admisibles. El sistema convencional y efluentes decantados solo se proponen con colectores frentistas, por lo que la solución puede ser impracticable en algunos sectores, ya que se deben tener colectores muy profundos para garantizar la conectividad, lo que aumento el costo de la obra.
8	Construcción o suministro de elementos singulares	Los elementos singulares más baratos se consideran los de efluentes decantados seguidos de los del sistema

#	Subcriterio	Comentarios
		condominial.
9	Estaciones de bombeo	Para la solución de efluentes decantados se puede evitar el uso de estación de bombeo, ya que se realizan trasvases de cuenca con tubos en contrapendiente, así como reducir la profundidad de las mismas.
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	El sistema condominial no requiere adecuación de la sanitaria interna, mientras que para el convencional se debe contar con descarga hacia el frente del predio. Para efluentes decantados, además de modificar sanitaria para descargar al frente, se requiere la construcción de fosa séptica domiciliaria.
11	Posibilidad de Uso de mano de obra no calificada	Dadas las características de la obra no es recomendable el uso de mano de obra no calificada, por lo que ninguna alternativa presenta una ventaja.
12	Participación de la comunidad	El sistema convencional no requiere participación de la comunidad más que se conecte al sistema y haga uso adecuado. Para el sistema condominial, ya que los colectores condominiales son trazados por predios particulares, se debe considerar las relaciones interpersonales como un factor importante.  Por último, efluentes decantados requiere una participación de la comunidad considerando el mantenimiento obligatorio de la fosa séptica.
13	Aceptación pública	Se considera que el sistema convencional es el mejor aceptado por todos los beneficiarios, mientras que efluentes decantados es el menos aceptado debido a que se debe intervenir su sanitaria interna así como mantener la fosa séptica domiciliaria.
14	Generación de residuos sólidos	En la solución de efluentes decantados, además de los residuos de limpieza de red (que son de menor volumen que en las demás alternativas), se tiene la

#	Subcriterio	Comentarios
		generación de lodo digerido en la fosa séptica domiciliaria.
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	Dado que todos los elementos de construcción del sistema convencional se instalan en espacios públicos, el riesgo a la salud de la población es menor que las demás alternativas. Para el sistema condominial, se considera mayor riesgo por la presencia de colectores y cámaras en predios de los usuarios. Por su parte, para efluentes decantados se presenta un riesgo mayor ya que se cuenta con la fosa séptica domiciliaria y los usuarios pueden tener contacto con los efluentes o lodos de la unidad.

A partir de la Tabla 5-46 se presenta la matriz de comparación de alternativas con puntuación en Tabla 5-47.

**Tabla 5-47 Matriz de Comparación de alternativas Escenario 6**

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1	1	1	1	5	5	3	5
Efluentes decantados	3	1	5	1	1	5	1	5	5	1	3	1	1	1	1
Condominial	1	3	3	3	1	3	5	3	1	5	1	3	3	3	3

El escenario presenta como argumento principal la dificultad para la conectividad de los usuarios, con el mínimo costo de inversión. Se toma como hipótesis que la población beneficiaria hará uso del sistema, pero no deberá ser tenida en cuenta para su mantenimiento.

El resultado obtenido para este escenario es que la solución más apropiada es la de Saneamiento Condominial, seguido de Efluentes decantados. Ver Tabla 5-48.

**Tabla 5-48 Resultado de comparación de alternativas Escenario 6**

Alternativa	Puntaje
Condominial	39.1 %
Efluentes decantados	29.1 %
Convencional	31.8 %



## 6. ENTREVISTAS

### 6.1. Introducción

Luego de la aplicación de la metodología propuesta para la selección de la mejor alternativa de saneamiento en los diferentes escenarios presentados bajo el enfoque del autor, se procede a la aplicación de la metodología bajo el enfoque de otros técnicos (o entrevistados).

Se realizaron diferentes entrevistas, para recabar información y opinión sobre las experiencias particulares de cada entrevistado en el diseño, construcción y operación de sistemas de saneamiento a nivel nacional.

Por otro lado, a cada entrevistado se le propone realizar la comparación de alternativas de saneamiento mediante el método multicriterio AHP bajo las hipótesis ya preestablecidas.

Los escenarios propuestos para compartir son los presentados como Escenario 2 y Escenario 4 en el capítulo anterior.

Se realizaron ocho entrevistas en total, con una duración de entre 2 y 3 horas cada una.

### 6.2. Análisis de Escenario 2

A modo de resumen se presentan las principales características del Escenario 2

- Urbanización espontánea de contexto social crítico
- Trazado de calles y sendas peatonales irregulares, con espacios libres de circulación reducidos.
- La ampliación se realiza por medio de colector a gravedad.
- Se busca implementar la mejor solución técnica a menor costo.

Bajo estas hipótesis, se realizaron ocho evaluaciones, donde los entrevistados realizaron la ponderación de criterios y se tienen los resultados en Tabla 6-1.

**Tabla 6-1 Comparación de Criterios por Entrevistado - Escenario 2**

Criterios	Entrevistado							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Técnicos	41 %	26 %	20 %	18 %	20 %	14 %	63 %	43 %
Costos	11 %	11 %	20 %	75 %	60 %	43 %	26 %	14 %
Socio-ambientales	48 %	63 %	60 %	7 %	20 %	43 %	11 %	43 %

Como se observa en tabla anterior, cinco de los ocho entrevistados consideran los criterios "Socio-ambientales" como los más importantes, mientras que para otros

tres son los “costos”. Solo un entrevistado considera los criterios “técnicos” como más importantes.

Posteriormente, cada entrevistado hizo la comparación de subcriterios. Los resultados se resumen en la Tabla 6-2.

**Tabla 6-2 Comparación de Subcriterios por Entrevistado - Escenario 2**

Subcriterio	Entrevistado							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Aceptación Técnica	3 %	2 %	1 %	2 %	1 %	1 %	6 %	3 %
Vulnerabilidad ante uso inapropiado	23 %	12 %	6 %	6 %	10 %	7 %	29 %	22 %
Operación y mantenimiento de la Red	7 %	5 %	6 %	3 %	5 %	4 %	13 %	11 %
Operación y mantenimiento de instalaciones	7 %	5 %	6 %	6 %	3 %	2 %	13 %	6 %
Tipo de tratamiento de efluente recolectados	2 %	1 %	1 %	1 %	1 %	0 %	2 %	1 %
Suministros de Tuberías	1 %	1 %	2 %	8 %	6 %	3 %	2 %	1 %
Colocación de Colectores	4 %	2 %	8 %	18 %	30 %	22 %	9 %	5 %
Construcción o Suministro de Elementos Singulares	2 %	2 %	2 %	8 %	6 %	6 %	4 %	2 %
Estaciones de bombeo	0 %	1 %	1 %	2 %	3 %	1 %	1 %	0 %
Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	4 %	5 %	8 %	37 %	15 %	11 %	9 %	5 %
Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	4 %	4 %	4 %	0 %	2 %	6 %	0 %	2 %
Participación de la comunidad	20 %	16 %	11 %	2 %	2 %	11 %	0 %	5 %
Aceptación pública	2 %	9 %	4 %	2 %	5 %	22 %	1 %	11 %
Generación de residuos sólidos	2 %	2 %	4 %	0 %	1 %	3 %	3 %	2 %
Riesgo de salud para operarios/usuarios	20 %	32 %	35 %	2 %	10 %	1 %	6 %	22 %

Según la priorización realizada por cada entrevistado, para este Escenario 2, los subcriterios más importantes en la mayoría de los casos son “Riesgo de salud para operarios/usuarios”, “Colocación de Colectores” y “Adecuación de Sanitaria interna/conectividad”. Con menor importancia, pero también destacables son “Vulnerabilidad ante uso inapropiado”, “Operación y mantenimiento de la Red”, “Operación y mantenimiento de instalaciones”, “Participación de la comunidad” y “Aceptación pública”.

Se observa la priorización de los criterios de costos y socio ambientales sobre los técnicos.

Los resultados de la comparación de alternativas para el Escenario 2 para cada entrevistado se observan en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3 Resultado de comparación de Alternativas – Entrevistas Escenario 2**

Alternativa	Entrevistado							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	51 %	46 %	51 %	22 %	28 %	35 %	45 %	47 %
Efluentes decantados	31 %	18 %	25 %	32 %	34 %	38 %	25 %	30 %
Condominial	18 %	36 %	24 %	45 %	38 %	26 %	30 %	23 %

Cinco de los ocho entrevistados obtuvieron como mejor alternativa el sistema convencional, mientras que dos obtuvieron sistema condominial y uno el de efluentes decantados.

La selección de sistema convencional refleja la importancia que se le dio a los criterios técnicos y socio ambientales: vulnerabilidad y riesgo de la salud, así como a la participación de bajo involucramiento que tendrían los usuarios. Dado el contexto social crítico, con una población no nucleada y con poco compromiso con el uso del sistema propuesto, se selecciona un sistema robusto para minimizar fallas, y que a su vez facilite la operación y mantenimiento.

Para los casos donde la selección fue condominial, la priorización se realizó sobre los criterios de costos: colocación de colectores y adecuación de la sanitaria interna. Las dificultades del procedimiento constructivo y la dificultad de conexión determinan al sistema condominial como la mejor solución, aunque se resalta la hipótesis de trazado de colectores condominiales sobre faja pública o servidumbre. Se reconoce que si no se cumple lo anterior y no se respetan las ubicaciones de los elementos de inspección, la solución puede no ser la seleccionada.

El caso donde la selección fue efluentes decantados, se observa que los criterios de costos y socio ambientales tienen la misma ponderación, con los siguientes subcriterios más importantes: “Colocación de Colectores” y “Adecuación de Sanitaria interna/conectividad” por un lado, y “Participación de la comunidad” y “Aceptación pública”. Dado que el sistema de efluentes decantados es el de menor costo para procedimiento constructivo, se toma como hipótesis que aunque se trata de un contexto social crítico, con un correcto trabajo social es la solución más adecuada.

Obtenidos los resultados individuales, se realiza la identificación de la alternativa grupal aplicando la media geométrica a cada una de las valoraciones, tal cual lo recomienda el método. Además de los ocho entrevistados, se considera la evaluación del autor. El resultado grupal se presenta en Tabla 6-4 y Tabla 6-5 :

**Tabla 6-4 Comparación de criterios Grupal Escenario 2**

Criterios	Ponderación
Técnicos	32 %
Costos	34 %
Socio-ambientales	34 %

**Tabla 6-5 Comparación de Subcriterios Grupal Escenario 2**

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	9 %	32 %	3 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	46 %	32 %	15 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	22 %	32 %	7 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	19 %	32 %	6 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	4 %	32 %	1 %
6	Suministros de Tuberías	9 %	34 %	3 %
7	Colocación de Colectores	37 %	34 %	13 %
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	13 %	34 %	4 %
9	Estaciones de bombeo	4 %	34 %	1 %
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	38 %	34 %	13 %
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	9 %	34 %	3 %
12	Participación de la comunidad	20 %	34 %	7 %
13	Aceptación pública	20 %	34 %	7 %
14	Generación de residuos sólidos	8 %	34 %	3 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	43 %	34 %	15 %

Se puede concluir que considerando el grupo de técnicos entrevistados, la media indica que no hay diferencia en importancia entre los criterios Técnicos, Costos y socio-Ambientales (Ver Tabla 6-4). En cuanto a los subcriterios, se vuelve a identificar la importancia de “Riesgo de salud para operarios/usuarios”, “Colocación de Colectores”, “Adecuación de Sanitaria interna/conectividad” y “Vulnerabilidad ante uso inapropiado”.

También se calcula la jerarquización de alternativas por criterios aplicando la media geométrica. La matriz de comparación de alternativas grupal para el escenario 2 se muestra en Tabla 6-6.

**Tabla 6-6 Matriz de comparación de alternativas Grupal Escenario 2**

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	5.0	5.0	2.8	4.7	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	2.4	1.3	4.7	4.7	3.0	4.2
Efluentes decantados	2.2	1.8	5.0	1.3	1.0	5.0	4.0	5.0	1.0	1.0	2.1	1.8	1.4	1.0	1.3
Condominial	1.3	1.4	1.5	2.6	1.0	3.0	3.4	3.0	1.0	5.0	2.0	1.6	2.1	2.8	1.6

De esta manera la selección de alternativas queda definida en Tabla 6-7:

**Tabla 6-7 Resultado de comparación de alternativas Grupal Escenario 2**

Alternativa	Puntaje
Convencional	41,5 %
Efluentes decantados	27,8 %
Condominial	30,6 %

Aplicando la metodología de comparación por cada entrevistado para el Escenario 2 y combinando los resultados, la alternativa seleccionada es el Sistema Convencional 42 %, seguido de Condominial 31 % y Efluentes decantados 28 %.

Para verificar la sensibilidad del método, se propone actuar sobre la evaluación conjunta, donde la importancia de los criterios es muy similar, priorizando el criterio “costos” para ver cómo se comportan los resultados. Ver Tabla 6-8.

**Tabla 6-8 Verificación de sensibilidad de método. Selección Grupal Escenario 2**

Criterios	Ponderación Obtenida	Ponderación Modificada
Técnicos	32%	20%
Costos	34%	60%
Socio-ambientales	34%	20%

Bajo esta hipótesis se presentan resultados en Tabla 6-9.

**Tabla 6-9 Comparación de Subcriterios Grupal Modificado Escenario 2**

#	Subcriterio	Ponderador Global Obtenida	Ponderador Global Modificado
1	Aceptación Técnica	3 %	2 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	15 %	9 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	7 %	4 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	6 %	4 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	1 %	1 %
6	Suministros de Tuberías	3 %	5 %
7	Colocación de Colectores	13 %	22 %
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	4 %	8 %
9	Estaciones de bombeo	1 %	2 %
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	13 %	23 %
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	3 %	2 %
12	Participación de la comunidad	7 %	4 %
13	Aceptación pública	7 %	4 %
14	Generación de residuos sólidos	3 %	2 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	15 %	9 %

Realizada la modificación, se aumenta la importancia de los subcriterios Colocación de colectores y Adecuación de sanitaria interna por encima de 20 %, quedando los demás subcriterios por debajo de 10 %.

Considerando la matriz de comparación de alternativas Tabla 6-6, se tiene que en caso de priorización del Criterio Costos, la alternativa seleccionada es Sistema Condominial. Ver Tabla 6-10.

**Tabla 6-10 Resultado de comparación de alternativas Grupal Modificado Escenario 2**

Alternativa	Puntaje
Convencional	32,7 %
Efluentes decantados	30,7 %
Condominial	36,5 %

### 6.3. Análisis de Escenario 4

A modo de resumen se presentan las principales características del Escenario 4:

- zona rural donde se tiene un conjunto de viviendas aglomeradas con una densidad menor a 10 viviendas/ha.
- comunidad unida y emprendedora
- se ha demandado el servicio de saneamiento a las autoridades nacionales.
- Actualmente se cuenta con sistemas estáticos (depósitos filtrantes).
- Sistema de recolección con estaciones de bombeo y sistema de tratamiento (Lagunas de estabilización).
- Minimizar costos de inversión y mantenimiento.

En este caso, se realizaron siete evaluaciones, donde los entrevistados realizaron la ponderación de criterios y se obtuvieron los resultados presentados en Tabla 6-11.

**Tabla 6-11 Comparación de Criterios por Entrevistado - Escenario 4**

Criterios	Entrevistado						
	1	2	3	4	5	6	7
Técnicos	52 %	33 %	20 %	11 %	11 %	11 %	43 %
Costos	14 %	33 %	60 %	26 %	63 %	26 %	14 %
Socio-ambientales	33 %	33 %	20 %	63 %	26 %	63 %	43 %

En este caso la priorización de criterios es más equilibrada entre los entrevistados. Cinco entrevistados priorizan un criterio sobre los demás (dos “costos”, dos “socio-ambientales”, uno “técnicos”), mientras que un entrevistado considera “costos y “socio-ambientales” de igual importancia, y un entrevistado le asigna la misma importancia a los tres grupos. Al igual que en el Escenario 2, cada entrevistado hizo la comparación de subcriterios, resumiendo los resultados en la tabla siguiente.

**Tabla 6-12 Comparación de Subcriterios por Entrevistado - Escenario 4**

Subcriterio	Entrevistado						
	1	2	3	4	5	6	7
Aceptación Técnica	2 %	2 %	3 %	0 %	0 %	1 %	3 %
Vulnerabilidad ante uso inapropiado	24 %	8 %	7 %	5 %	1 %	0 %	19 %
Operación y mantenimiento de la Red	11 %	8 %	1 %	1 %	3 %	3 %	7 %
Operación y mantenimiento de instalaciones	11 %	8 %	3 %	1 %	1 %	3 %	7 %
Tipo de tratamiento de efluente recolectados	5 %	8 %	7 %	3 %	5 %	3 %	7 %
Suministros de Tuberías	2 %	2 %	5 %	2 %	7 %	1 %	1 %

Subcriterio	Entrevistado						
	1	2	3	4	5	6	7
Colocación de Colectores	4 %	5 %	14 %	6 %	16 %	7 %	2 %
Construcción o Suministro de Elementos Singulares	2 %	2 %	5 %	2 %	7 %	3 %	1 %
Estaciones de bombeo	6 %	19 %	30 %	13 %	31 %	13 %	8 %
Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	1 %	5 %	5 %	2 %	3 %	1 %	2 %
Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	3 %	3 %	2 %	21 %	3 %	5 %	12 %
Participación de la comunidad	9 %	9 %	8 %	20 %	13 %	10 %	12 %
Aceptación pública	5 %	9 %	8 %	7 %	7 %	23 %	4 %
Generación de residuos sólidos	2 %	3 %	2 %	7 %	2 %	3 %	2 %
Riesgo de salud para operarios/usuarios	15 %	9 %	2 %	8 %	1 %	23 %	13 %

Como era de esperar, al tener una disparidad en la priorización de los criterios, también la hay para los subcriterios comparando cada entrevistado. De todas maneras, se puede identificar como subcriterios más importantes “Estaciones de Bombeo”, “Participación de la comunidad”, “Aceptación Pública” y “Riesgo para la salud” en la mayoría de los entrevistados. En un segundo escalón, por debajo, se puede identificar “vulnerabilidad ante uso inapropiado” y luego, en un nivel inferior “operación y mantenimiento red/instalaciones”.

Se observa la priorización de criterios en el siguiente orden decreciente: socio-ambientales, costos y técnicos. Particularmente en este escenario, al subcriterio “estaciones de bombeo” se le da gran importancia, dado el costo que implicaría una instalación de estas magnitudes, así como la operación y mantenimiento, en un escenario como el presentado para análisis.

Los resultados de la comparación de alternativas para el Escenario 4 para cada entrevistado se observan en la siguiente tabla.

**Tabla 6-13 Resultado de comparación de Alternativas – Entrevistas Escenario 4**

Alternativa	Entrevistado						
	1	2	3	4	5	6	7
Convencional	43 %	36 %	25 %	26 %	22 %	26 %	32 %
Efluentes decantados	34 %	42 %	50 %	47 %	55 %	39 %	38 %
Condominial	23 %	22 %	25 %	27 %	23 %	36 %	29 %

En este escenario, seis de los siete entrevistados obtuvieron como mejor alternativa el sistema de efluentes decantados y un entrevistado el sistema convencional.

La selección de efluentes decantados está dada por la priorización de subcriterios socio-ambientales y costos, principalmente “participación de la comunidad” y “estaciones de bombeo”. El resultado refleja las hipótesis dadas por el compromiso de la comunidad aplicado al uso correcto del sistema, y la minimización de costos, en particular reducción de cantidad de estaciones de bombeo (o eliminación).

La evaluación que determina como mejor alternativa sistema convencional, se basa en la priorización de criterios técnicos: “Vulnerabilidad ante uso inapropiado”, “Operación y mantenimiento de la Red”, y “Operación y mantenimiento de instalaciones”. Se busca el sistema más robusto y que tenga menos inconvenientes para su operación y mantenimiento.

Obtenidos los resultados individuales, se realiza la selección de la alternativa grupal aplicando la media geométrica a cada una de las valoraciones, tal cual lo recomienda el método, incluyendo la evaluación del autor. El resultado grupal se presenta en Tabla 6-14 y Tabla 6-15.

**Tabla 6-14 Comparación de criterios Grupal Escenario 4**

Criterios	Ponderación
Técnicos	21.5 %
Costos	34.9 %
Socio-ambientales	43.6 %

**Tabla 6-15 Comparación de Subcriterios Grupal Escenario 4**

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	6 %	21.5 %	1 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	28 %	21.5 %	6.0 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	18 %	21.5 %	4.0 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	19 %	21.5 %	4.0 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	29 %	21.5 %	6.2 %
6	Suministros de Tuberías	8 %	34.9 %	3 %
7	Colocación de Colectores	22 %	34.9 %	8 %
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	9 %	34.9 %	3 %
9	Estaciones de bombeo	52 %	34.9 %	18 %

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	8 %	34.9 %	3 %
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	15 %	43.6 %	7 %
12	Participación de la comunidad	36 %	43.6 %	15.5 %
13	Aceptación pública	19 %	43.6 %	8.5 %
14	Generación de residuos sólidos	7 %	43.6 %	3.2 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	22 %	43.6 %	9.7 %

En este caso, dadas las evaluaciones individuales de técnicos entrevistados, la media indica prioridad sobre los criterios Socio-Ambientales seguidos de Costos, y por último Técnicos, y.

En cuanto a los subcriterios, los más importantes son “Estaciones de Bombeo” y “Participación de la comunidad”.

En la Tabla 6-16 se muestra la jerarquización de alternativas por criterios aplicando la media geométrica.

**Tabla 6-16 Matriz de comparación de alternativas Grupal Escenario 4**

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	4.1	5.0	2.6	3.8	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.7	1.1	1.2	3.8	3.2	3.6
Efluentes decantados	1.9	1.6	4.1	1.3	4.3	5.0	4.7	5.0	4.5	1.0	3.1	3.4	2.0	1.0	1.5
Condominial	1.3	1.3	1.1	3.0	1.0	3.0	2.8	3.0	1.3	3.7	3.0	2.9	1.3	2.6	1.6

De esta manera la selección de alternativas queda definida en la Tabla 6-17.

**Tabla 6-17 Resultado de comparación de alternativas Grupal Escenario 4**

Alternativa	Puntaje
Convencional	28,6 %
Efluentes decantados	43,5 %
Condominial	27,8 %

Aplicando la metodología de comparación por cada entrevistado para el Escenario 4, y combinando los resultados, la alternativa seleccionada es el Sistema de Efluentes decantados 43 %, Convencional 29 %, y Condominial 28 %.

De igual manera que en el análisis anterior, se propone, sobre la evaluación conjunta, incidir sobre el resultado, priorizando el criterio “técnicos”. Ver Tabla 6-18.

**Tabla 6-18 Verificación de sensibilidad de método. Selección Grupal Escenario 4**

Criterios	Ponderación Obtenida	Ponderación Modificada
Técnicos	21.5 %	77.8 %
Costos	34.9 %	11.1 %
Socio-ambientales	43.6 %	11.1 %

Bajo esta hipótesis se obtienen los resultados presentados en Tabla 6-19:

**Tabla 6-19 Comparación de Subcriterios Grupal Modificado Escenario 2**

#	Subcriterio	Ponderador Global Obtenida	Ponderador Global Modificado
1	Aceptación Técnica	1 %	14.2 %
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	6.0 %	19.7 %
3	Operación y mantenimiento de la Red	4.0 %	14.2 %
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	4.0 %	14.2 %
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	6.2 %	15.5 %
6	Suministros de Tuberías	3 %	0.9 %
7	Colocación de Colectores	8 %	2.5 %
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	3 %	1.0 %
9	Estaciones de bombeo	18 %	5.8 %
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	3 %	0.9 %
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	7 %	1.7 %
12	Participación de la comunidad	15.5 %	3.9 %
13	Aceptación pública	8.5 %	2.2 %
14	Generación de residuos sólidos	3.2 %	0.8 %
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	9.7 %	2.5 %

Realizada la modificación, se aumenta la importancia de los subcriterios técnicos entre 15 % y 20 %, quedando los demás subcriterios por debajo de 10 %.

Considerando la matriz de comparación de alternativas Tabla 6-16, se tiene que en caso de priorización del Criterio Técnicos, la alternativa seleccionada es Sistema Convencional. Ver Tabla 6-20.

**Tabla 6-20 Resultado de comparación de alternativas Grupal Modificado**

**Escenario 2**

Alternativa	Puntaje
Convencional	39.6%
Efluentes decantados	38.2%
Condominial	22.2%

## **7. SINTESIS FINAL**

### **7.1. Acerca del uso de sistemas de saneamiento separativo**

Como síntesis final sobre el uso de sistemas de saneamiento separativo se puede decir que todos los sistemas diseñados de acuerdo a las recomendaciones o resultados de experiencias exitosas, usados y operados correctamente, funcionan de manera aceptable. Inclusive se puede afirmar, que un sistema mal diseñado, puede funcionar bien si es correctamente operado y se cuenta con la participación de los usuarios para tal objetivo.

Dicha la afirmación anterior, en el diseño de los sistemas, no solo se deben considerar los criterios técnicos (tamaño de colectores, pendientes, etc.) sino que también deben ser consideradas las características físicas del lugar donde se ejecutará el proyecto, así como las costumbres de la población que se beneficiará.

En Uruguay, desde los primeros proyectos y obras de saneamiento ejecutadas en las ciudades del país se asume como solución tecnológica única de saneamiento el sistema convencional. En muchos casos, dicha solución ha resultado muy costosa o no se ha contado con la cantidad de usuarios conectados como se proyectó en el diseño del sistema. La implementación de estos sistemas en zonas de baja densidad de población o con características físicas particulares (suelo rocoso, presencia de napa, baja pendiente) presenta complicaciones desde el punto de vista técnico al no poderse garantizar las condiciones mínimas de funcionamiento, y se tiene un aumento significativo de los costos por conexión.

A pesar de ello, cuando se realiza un estudio de alternativas de sistemas de saneamiento, solo se suele considerar el sistema convencional, y se reduce a una comparación de costos dada por variantes de trazado o cantidad de estaciones de bombeo. No se contemplan aspectos sociales o ambientales que pueden, al menos, poner en consideración otras tecnologías de saneamiento separativo alternativo.

Recapitulando, según bibliografía sobre experiencias en tecnologías de saneamiento separativo alternativo, se ha comprobado que tanto el sistema condominial como efluentes decantados requieren procedimientos constructivos más sencillos y suministros de menor costo, pero en muchos casos, la solución de menor costo no garantiza la sustentabilidad. Para el uso de estos sistemas es necesario que los usuarios acepten la solución, tengan conocimiento pleno de ella con sus fortalezas y debilidades, y la utilicen correctamente.

De acuerdo a los antecedentes, en Uruguay la Operación y Mantenimiento de los sistemas de saneamiento generalmente es un punto débil. En la mayoría de los casos son tareas de tipo correctivo y no predictivo. Indirectamente, esta condición puede justificar la adopción de sistema convencional como solución de saneamiento única admisible, ya que presenta mayor robustez y es el más aceptado en cualquier contexto. De todas maneras, más allá de la aceptación, al momento de uso del mismo, no se cuenta con un alto porcentaje de conexión, siendo en el entorno del 50 % a 70 %.

Las experiencias a nivel nacional de efluentes decantados en sus comienzos fueron satisfactorias, pero en el último tiempo no han sido exitosas. De todas maneras, al tratarse de proyectos integrales (vivienda, vialidad, servicios, etc.), se tiene un alto % de conexión de saneamiento. Actualmente se está en una transición en la gestión de los sistemas MEVIR de efluentes decantados hacia la OSE. Para los nuevos proyectos, los criterios de diseño de redes originalmente basados en recomendaciones para efluentes decantados, han sido dejados en desuso y OSE exige implementar criterios de diseño para sistemas de redes convencionales, excepto en los proyectos de ampliación donde el sistema de conducción ya es con conductos de pequeño diámetro.

Por último, en Uruguay, no se identifican experiencias a nivel urbano de uso de sistemas condominiales, excepto algún complejo de viviendas cooperativas, donde sí han tenido un uso satisfactorio. El trazado de colectores condominiales por predios privados se plantea como un desafío donde las relaciones interpersonales dentro de la comunidad son de vital importancia. También se debe considerar que el trazado definitivo puede ser de jurisdicción pública o privada con las implicancias jurídicas relacionadas. A priori, se considera una tecnología difícil de aplicar dado el desconocimiento que se tiene de ella.

## **7.2. Acerca de la Metodología Propuesta**

### **7.2.1. Discusión de resultados**

Dado un lugar de estudio a sanear, del que se conocen sus características físicas, sociales, económicas y ambientales, y un conjunto de alternativas viables, la metodología propuesta implica definir un grupo de criterios entre los que deberán establecerse prioridades en función del caso particular, para obtener como resultado la alternativa de saneamiento más adecuada.

La evaluación propuesta en este trabajo es con base en tres grupos de criterios (técnicos, costos y socio-ambientales), hacia un desglose de cada uno en cinco subcriterios más específicos que hacen más fácil el análisis y la comparación de las alternativas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, para los escenarios donde la prioridad es contar con un sistema robusto, que pase desapercibido para los usuarios, minimizando el riesgo a la salud, sin restricción de costos, la solución seleccionada fue el sistema convencional (Escenarios 1 y 3). El sistema convencional es la solución más aceptada, ya que no requiere de participación activa de los usuarios más que en un correcto uso del sistema.

En los casos donde la participación de la comunidad es prioridad para el éxito del proyecto (Escenarios 4 y 5), el sistema seleccionado es Efluentes decantados.

Cuando se tiene restricción de costos, dificultades constructivas o dificultades de conectividad, la solución seleccionada es sistema condominial (Escenarios 2 y 6).

La metodología fue presentada a un grupo de técnicos expertos en la materia, quienes bajo las hipótesis mencionadas, realizaron su evaluación y así hicieron sus aportes para la mejora de la misma.

Como se observa en los resultados de todas las evaluaciones sobre los escenarios, la metodología refleja en números las consideraciones que se tienen en la toma de decisiones para la selección de la mejor alternativa.

Además, para un mismo escenario, modificando la priorización de los criterios generales y/o específicos, se observa la sensibilidad en la variación de la selección. Dicho de otro modo, dado un escenario, se puede comparar la selección de la alternativa más adecuada modificando las condiciones o hipótesis de diseño, no sólo técnicas, sino económicas, sociales o ambientales.

Los resultados obtenidos en las evaluaciones realizadas, bajo las hipótesis supuestas, hacen cuestionarse lo siguiente:

¿En cuánto incide en la toma de decisión si el grupo de beneficiarios demanda o no del servicio?

¿Qué porcentaje de conexión se tendría en una ampliación de sistema de saneamiento separativo convencional acompañado con un Plan de Conexión?

¿Cuál sería el resultado del uso de sistema de saneamiento de efluentes decantados con un trabajo social continuo con los usuarios?

Si para el sistema de saneamiento de efluentes decantados la discusión se centra en el mantenimiento de la fosa séptica, ¿cuál sería la aceptación del sistema si se contará con un programa de mantenimiento de las unidades domiciliarias con gestión pública?

¿Cuál sería la aceptación del sistema condominial luego de un correcto plan de comunicación con los usuarios?

¿Cuál sería la vulnerabilidad o dificultades de operación en un sistema condominial si se determinan adecuadamente los trazados de colectores condominiales en faja pública?

¿En cuánto incide en la toma de decisión si el grupo de beneficiarios es un conjunto nucleado?

Con las interrogantes presentadas, se puede ampliar el espectro de condiciones para la aplicación de cada tecnología.

Con la metodología propuesta, se pueden simular estas variaciones de condicionantes, contando con un instrumento de gestión válido para el estudio de alternativas de sistemas de saneamiento separativo, de modo de obtener un resultado objetivo.

## **7.2.2. Mejoras al modelo**

### **7.2.2.1. Ampliación de espectro de criterios**

En el marco de este trabajo se optó por tres criterios generales, técnicos, costos y socio-ambientales, subdivididos en cinco subcriterios.

Tal como se presentó en capítulos anteriores, los casos evaluados fueron simulados y ninguno se refiere a un caso real propiamente dicho. Con los criterios seleccionados se buscó cubrir todo el espectro de los escenarios presentados. Para la evaluación de un proyecto real, se pueden revisar los criterios de comparación, adecuándolos al detalle con que se desarrolle el proyecto (Plan Director, Anteproyecto, Proyecto Ejecutivo).

Cabe resaltar que, aunque no hay límite en la jerarquización de grupos o criterios generales, el método de comparación de a pares no recomienda realizar la evaluación para más de seis o siete criterios a un mismo nivel de jerarquía.

### **7.2.2.2. Ponderación de criterios cuantificables**

En la jerarquización de alternativas por criterio, aquellos criterios que son cuantificables (costos de inversión, costos de operación y mantenimiento, costos de trabajo social, % de conexión, longitud de red, cantidad de estaciones de bombeo), se deben normalizar previamente, de manera de llevarlos a una escala comparable con los criterios cualitativos.

Junto a lo anterior, con el fin de enfatizar las diferencias favorables o desfavorables entre alternativas, se puede variar la escala de comparación a un rango mayor.

### **7.2.2.3. Grupo de expertos**

Como lo recomienda el método, la participación de un grupo de expertos enriquece de manera sustancial la forma de evaluación.

Estos expertos pueden conformar un grupo interdisciplinario, idóneo en el área de saneamiento, capaz de identificar de manera más integral los objetivos relevantes de un proyecto de estas características, y reflejarlo en el modelo a través de la selección de criterios y su jerarquización, así como su forma de valoración.

Para este trabajo se convocó a un Grupo de expertos para la evaluación de dos de los escenarios simulados, donde en un caso se pudo observar un acuerdo general en los resultados de las evaluaciones individuales, mientras que en el otro caso la dispersión de los resultados fue más amplia. Esto último evidencia el valor de la discusión técnica transversal previa a la toma de decisiones.

## **7.3. A modo de Conclusiones finales**

Cuando se realiza un diseño de un sistema de saneamiento, siempre se busca la solución más adecuada y eficiente.

Para la universalización del saneamiento es inevitable la ampliación del espectro de tecnologías utilizadas actualmente. El uso de sistemas separativos convencionales como solución no debería ser aplicado en todos los casos, sino que la solución debe ser adecuada caso a caso, considerando además tecnologías alternativas, o la combinación de éstas.

En caso de contar con un diseño adecuado, si la operación del sistema no es correcta, este colapsará. La solución debe ser aceptada y conocida por el responsable de la operación, quien deseablemente debería realizar su aporte para contemplar los aspectos necesarios para una mejor evaluación de alternativas.

Por otro lado, si el uso del sistema no es de acuerdo a lo recomendado, también colapsará. La participación de los usuarios en todas las etapas del proyecto es clave para el éxito: conocimiento de cada solución posible, discusión de trazado de colectores, definición de responsabilidades y obligaciones.

La aplicación de este tipo de elementos de gestión, calibrado por un panel de expertos interdisciplinario e interinstitucional si es el caso, puede aportar resultados cuantitativos significativos para una mejor toma de decisiones.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

Azevedo Netto J. (1992). Environmental Health Program 29, Innovative and low Cost technologies utilized in sewerage. Washington: OMS.

Administración de Obras Sanitarias del Estado (OSE) (1995). Reglamento para el Proyecto, Construcción y Financiación de las Obras de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento de los Conjuntos Habitacionales construidos por M.E.V.I.R. R/D N° 507/95 del 22/03/1995. Montevideo: OSE.

Administración de Obras Sanitarias del Estado (OSE) (2000a). Reglamento para el Trámite y Ejecución de Proyectos y Obras de Abastecimiento de Agua Potable y Servicio de Saneamiento destinado a Nuevos Fraccionamientos R/D N°689/00 del 15/06/00. Montevideo: OSE.

Administración de Obras Sanitarias del Estado (OSE) (2000b). Reglamento para el Trámite y Ejecución de Proyectos y Obras de Abastecimiento de Agua Potable y Servicio de Saneamiento destinado a Conjuntos Habitacionales excepto M.E.V.I.R. R/D N°690/00 del 15/06/00. Montevideo: OSE.

Administración de Obras Sanitarias del Estado (OSE) (2008). Resolución del Directorio de OSE R/D 618/08. Montevideo: OSE.

Administración de Obras Sanitarias del Estado (OSE) (2017). Criterios de Diseño para Sistemas MEVIR. Unidad de Tratamiento de Aguas Residuales y Sistemas de Saneamiento. Gerencia de Saneamiento. Montevideo: OSE.

Administración de Obras Sanitarias del Estado (OSE) (2019). Web Oficial. <http://www.ose.com.uy>

Agencia de Compras y Contrataciones del Estado (ACCE) (2019). Web Oficial. <https://www.comprasestatales.gub.uy/consultas/>

Alberta Environment and Sustainable Resource Development (AESRD) (2013a). Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems. Part 3 Wastewater Systems Guidelines for Design, Operating and Monitoring. Alberta: Alberta Government.

Alberta Environment and Sustainable Resource Development (AESRD) (2013b). Standards and Guidelines for Municipal Waterworks, Wastewater and Storm Drainage Systems. Part 3 Wastewater Systems Standards for Performance and Design. Alberta: Alberta Government.

Angelakis, A.N., Rose J. B. (2014). Evolution of Sanitation and Wastewater Technologies through the Centuries. Londres: IWA. ISBN 9781780404851

Arroyo, V., et al. (2015). Universalización de servicios de agua potable y saneamiento. Caracas: CAF. ISBN: 978-980-7644-88-4

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1986). NBR 9649 Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1993). NBR 7229 Projeto, construção e operação de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT.

Aznar Bellver, J. (2012). Nuevos métodos de valoración: modelos multicriterio 2da Edición. Valencia: Universitat Politècnica.

Bakir, H.A. (2001). Sustainable wastewater management for small communities in the Middle East and North Africa. *Journal of Environmental Management* (2001) 61, 319–328

Baldo, C. (2019). Entrevista Personal.

Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) (2018). IDEAL 2017. Infraestructura para el desarrollo de América Latina (folleto). Caracas: CAF. <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1182>

Canal de Isabel II (2016). Normas para redes de Saneamiento Versión 2. Madrid: Canal de Isabel II.

Chiotis E.D., Chioti L.E. (2014). Evolution of Sanitation and Wastewater Technologies through the Centuries. London: IWA. ISBN 9781780404851

Cinelli, M., Coles, S.R., Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological Indicators*, 46 (2014) 138-148.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2009). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado sanitario. México: CONAGUA, Gobierno Federal.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2015). Manual de agua potable: Libro 21. alcantarillado y saneamiento: Sistemas Alternativos de Alcantarillado Sanitario. México: CONAGUA, Gobierno Federal.

Contreras, M. (2013). Bajos Sus Pies. Montevideo: Semanario Búsqueda Edición 1444. <https://brecha.com.uy/bajo-sus-pies/>

Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería (2016). Curso de Introducción a la Ingeniería Sanitaria. Montevideo: Facultad de Ingeniería.

Dyer, J.S. (1990). Remarks on the Analytic Hierarchy Process. *Management Science* 36(3):249-258.

Empresas Públicas de Medellín. E. S. P. (2013). Normas de Diseño de Sistemas de Alcantarillado de las Empresas Públicas de Medellín. E. S. P. Medellín: EPM.

Ente Nacional de Obras Hídricas de Saneamiento (ENOHSA) (1995). Normas de Estudio, Diseño y Presentación de Proyectos de Desagües Cloacales del ENOHSA (ex-CoFAPyS). Ministerio del Interior, Obras Públicas y Vivienda, República Federal <https://www.argentina.gob.ar/>

Fibra Ingeniería y Construcción SA. Web. <https://www.fibra.cl/>

Guido, P. (2019). Entrevista Personal.

Guimarães, A.S.P. (1986). *Redes de Esgotos Simplificadas*. Brasília: Programa de las Naciones Unidas/Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente.

Herva, M., Roca, E. (2013). Review of combined approaches and multi-criteria analysis for corporate environmental evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 39 (2013) 355-371.

Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS) (2015). *Desafíos del agua urbana en las Américas*. México: UNESCO. ISBN: 978-607-8379-12-5.

Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería (2018). *Curso de Introducción a la Investigación de Operaciones (CIIO)*. Montevideo: Facultad de ingeniería. <https://www.fing.edu.uy/inco/cursos/io/>

Instituto Nacional de Estadística (INE) (2012). *Censo de Población y Vivienda 2011*. <http://www.ine.gub.uy>

Ily, J.M. (2013a). Choosing and implementing non-conventional sewers for the provision of sanitation services. pS-Eau <https://www.pseau.org/mini-egouts>

Ily, J.M. (2013b). Choosing and implementing non-conventional sewerage services: Senegal Case Study, pS-Eau <https://www.pseau.org/mini-egouts>

Ily J.M. Miranda Neto A., (2013), Choosing and implementing non-conventional sewerage services: Brazil Case Study, pS-Eau <https://www.pseau.org/mini-egouts>

Ily, J. M. et al. (2014). Methodological guide n° 7: Non-conventional sewerage services. pS-Eau. <https://www.pseau.org/mini-egouts>

Intendencia de Montevideo (IM) (2019). Web oficial. <http://www.montevideo.gub.uy/>

Intendencia de Montevideo (IM). *Normas de Sanitaria. Reglamento general sobre aprobación y contralor de materiales a emplearse en las obras sanitarias domiciliarias*. Montevideo; IM.

Intendencia de Montevideo (IM). *Desarrollo Ambiental (2019). 100 Años de Gestión Pública del Saneamiento de Montevideo a Cargo de la IM*. <http://www.montevideo.gub.uy/areas-tematicas/ambiente/saneamiento/100-anos-de-gestion-publica-del-saneamiento-de-montevideo>

Lampoglia, T., Mendonca, S. (2006). *Alcantarillado condominial: una estrategia de saneamiento para alcanzar los objetivos del milenio en el contexto de los municipios saludables*. Lima: CEPIS.

Lentini, E. (2015). *El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina. Desafíos de los operadores de áreas urbanas de más de 300.000 habitantes*. BID - CAF.

<https://publications.iadb.org/es/publicacion/15452/el-futuro-de-los-servicios-de-agua-y-saneamiento-en-america-latina-desafios-de>

Ley Orgánica N° 11.907 Promulgada el 19 de Diciembre de 1952 y sus modificaciones. República Oriental del Uruguay, Administración de las Obras Sanitarias del Estado.

Ley N° 18.840 Promulgada el 23 de Noviembre de 2011 y sus modificaciones Decreto Reglamentario N° 59/13 de 18 de febrero de 2013. República Oriental del Uruguay, Administración de las Obras Sanitarias del Estado.

López, J. et al. (2012). Sistemas de saneamiento adecuado. Convenio Facultad de Ingeniería, UdelaR – OSE.

López, J. (2015). Sistemas de saneamiento adecuado. Tesis para obtener el grado de Magister en Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería – UdelaR.

López, J. (2019). Entrevista Personal.

Macharis, C., Springael J., De Brucker, K., Verbeke, A. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP Alain. European Journal of Operational Research 153 (2004) 307–317

Mara, D., Otis, R. (1985). Nota Técnica N° 14: Diseño de alcantarillado de pequeño diámetro. Washington: PNUD, BM.

Mara, D. et al. (2001). PC-based simplified Sewer Design. Leeds: University of Leeds.

Mara, D., Evans, B. (2011). Sanitation and Water Supply in Low-income Countries. [www.bookboon.com](http://www.bookboon.com) ISBN 978-87-7681-866-1

Marrero, J. (2019). Comunicación Personal.

Martinez, L. (2019). Comunicación Personal.

Melo, J.C. (2005). La experiencia de los sistemas de agua y alcantarillado condominiales en Brasil. Lima; Banco Mundial-BNWP-WSP.

Metcalf & Eddy (2003). Wastewater engineering, treatment and reuse. 4a Ed. New York: McGraw-Hill Publishing Co. ISBN 978-00-70-41878-3

MEVIR, Gross, F. (2001). Experiencia de MEVIR en la disposición de efluentes cloacales mediante sistemas alternativos de bajo costo. Montevideo: MEVIR.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2010). Decreto 78/010 Reglamentación de Ley N° 18.610. Montevideo: Poder Legislativo.

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) (2017). Plan Nacional de Aguas. Montevideo: MVOTMA.

Molinolo, J. (2019). Entrevista Personal.

Nema, A. (2013). Performance assessment of off-grid simplified sewerage systems in Ramagundam municipality. <https://www.pseau.org/mini-egouts>

Organización de Naciones Unidas (ONU) (1972). Declaración de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano.

Organización de Naciones Unidas (ONU) (2000). Resolución aprobada por la Asamblea General A/RES/55/2 Declaración del Milenio. New York: ONU.

Organización de Naciones Unidas (ONU) (2015). Resolución aprobada por la Asamblea General A/RES/70/1 Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. New York: ONU.

Organización de Naciones Unidas (ONU) (2017). E/2017/66 Progresos en el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. New York: ONU

Organización de Naciones Unidas (ONU) (2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe (LC/G.2681-P/Rev.3). Santiago. ISBN: 978-92-1-058643-6

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2017) Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS [Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF). ISBN 978-92-4-351289-1

Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (OPS-CEPIS) (2005). Guías para el diseño de tecnologías de alcantarillado. Lima: OPS.

Pacheco, J. F., Contreras, E. (2008). Serie Manuales 58: Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Santiago de Chile: CEPAL, ILPES.

Paez Rubio, T., et al. (2015). Acceso universal al saneamiento: alternativas y costos: caso Uruguay. <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15510/acceso-universal-al-saneamiento-alternativas-y-costos-caso-uruguay>

Pelegriño, A. (2003). Caracterización Demográfica del Uruguay. Montevideo: Programa de Población Facultad de Ciencias Sociales Universidad de la República

Pilar, J. V. (2011). Herramientas para la Gestión y la Toma de Decisiones 2ª ed. Salta: Editorial Hanne.

Presidencia de la República Oriental del Uruguay (2004). Constitución 1967 con las modificaciones plebiscitadas el 26 de noviembre de 1989, el 26 de noviembre de 1994, el 8 de diciembre de 1996 y el 31 de octubre de 2004. Montevideo: Poder Legislativo.

Presidencia de la República Oriental del Uruguay (2009). Ley Nº 18.610 POLÍTICA NACIONAL DE AGUAS. Montevideo: Poder Legislativo.

Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO (WWAP) (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO. ISBN 978-92-3-300108-4.

Rezzano, N. (2019). Entrevista Personal.

Ríos, D. (2019). Entrevista Personal.

Rocco. Web. <https://rocco.com.uy/>

Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory Decis.* 31, 49e73.

Russo, R., Camanho, R. (2015). Criteria in AHP: A Systematic Review of Literature. *Procedia Computer Science*, 55 (2015) 1123-1132.

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw Hill.

Saaty, T.L. (1982). *Decision making for leaders: the analytical hierarchy process for decisions in a complex world*. Belmont (California): Lifetime Learning Publications.

Saaty, T.L. (1990). An Exposition on the AHP in Reply to the Paper "Remarks on the Analytic Hierarchy Process". *Management Science* Vol. 36, No. 3 (Mar., 1990), pp. 259-268

Saaty, T.L. (1997). *Toma de Decisiones para Líderes*. Spanish Edition. Pittsburgh: RWS Publications.

Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 83-98.

Saaty, T.L., Ozdemir, M.S. (2003). Why the magic number seven plus or minus two. *Math Comput Model* 2003; 38:233–44.

Salifu L.Y. (2013), Choosing and implementing non-conventional sewerage services: Ghana Case Study, pS-Eau <https://www.pseau.org/mini-egouts>

Servicio de Estudios y Proyectos de Saneamiento (IM-SEPS) (2018). *Guía para Presentación de Proyectos*. Montevideo: IM. [www.montevideo.gub.uy](http://www.montevideo.gub.uy)

Taha, H.A. (2004). *Investigación de operaciones*, 7a. edición. México: Pearson Educación.

Tramarico, C., Mizuno, D., Pamplona Salomon, V., Silva Marins, S.A. (2015). Analytic Hierarchy Process and Supply Chain Management: A Bibliometric Study. *Procedia Computer Science*, 55 (2015) 441-450.

- Tilley, E., et al. (2014). *Compendium of Sanitation Systems and Technologies*. 2nd Revised Edition. Dübendorf: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).
- Urwicz, T. (2016). *Saneamiento: un derecho bajo tierra: la salud, el pozo y la mentira*. Montevideo: El País.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2002). *Collection Systems Technology Fact Sheet. Sewers, Conventional Gravity*. Washington: EPA.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1986). *Small Diameter Gravity Sewers: an alternative for unsewered communities*. Washington: EPA.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (2000). *Decentralized Systems Technology Fact Sheet Small Diameter Gravity Sewers*. Washington: EPA.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) (1991). *Manual: Alternative Wastewater Collection Systems*. Washington: EPA.
- Vaidya, O.S., Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research* 169 (2006) 1–29
- Valena, J. (2019). Comunicación Personal.
- Vargas-Ramirez, M., Lampoglia, T. (2006). Scaling-up using condominial technology. *Waterlines* Vol. 25 No.2. pag. 11-13.
- Viapiana, S. (2018). Comunicación personal.
- Viapiana, S. (2019). Entrevista personal.
- Vidal, C. et al. (2012). *Guía metodológica para la priorización de proyectos: Un enfoque aplicado a la infraestructura, la logística y la conectividad* 1ra ed. – Santiago de Cali: Pontificia Universidad Javeriana, Sello Editorial Javeriano.
- Zorrilla de San Martín, G. (2019). Entrevista Personal.



## **9. ANEXO – MATRICES DE COMPARACIÓN PARA ANÁLISIS DE ESCENARIOS**



## Escenario 1

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	5	1	45%
Costos	1/5	1	1/5	9%
Socio-ambientales	1	5	1	45%
B	2.20	11.00	2.20	
n	3			
Matriz normalizada	0.455	0.455	0.455	
	0.091	0.091	0.091	
	0.455	0.455	0.455	
VP	0.455			
	0.091			
	0.455			
Lambda Max	3.00			
índice de consistencia	0			
RI	0.58			
Relación de consistencia	0% RC<10%, OK			

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	1	3	3	9	35%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	1	1	3	3	9	35%
3	Operación y mantenimiento de la Red	1/3	1/3	1	1	5	13%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	1/3	1/3	1	1	5	13%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	1/9	1/9	1/5	1/5	1	3%
B		2.78	2.78	8.20	8.20	29.00	
n		5					
Matriz normalizada		0.360	0.360	0.366	0.366	0.310	
		0.360	0.360	0.366	0.366	0.310	
		0.120	0.120	0.122	0.122	0.172	
		0.120	0.120	0.122	0.122	0.172	
		0.040	0.040	0.024	0.024	0.034	
VP		0.352					
		0.352					
		0.131					
		0.131					
		0.033					
Lambda Max		5.06					
índice de consistencia		0.014369947					
RI		1.12					
Relación de consistencia		1% RC<10%, OK					

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/5	1	3	3	15%
7	Colocación de Colectores	5	1	5	9	9	60%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1	1/5	1	3	3	15%
9	Estaciones de bombeo	1/3	1/9	1/3	1	1	5%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	1/3	1/9	1/3	1	1	5%
B		7.67	1.62	7.67	17.00	17.00	
n		5					
Matriz normalizada		0.130	0.123	0.130	0.176	0.176	
		0.652	0.616	0.652	0.529	0.529	
		0.130	0.123	0.130	0.176	0.176	
		0.043	0.068	0.043	0.059	0.059	
		0.043	0.068	0.043	0.059	0.059	
VP		0.147					
		0.596					
		0.147					
		0.055					
		0.055					
Lambda Max		5.08					
índice de consistencia		0.021052681					
RI		1.12					
Relación de consistencia		2% RC<10%, OK					

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	1	1/7	3	1/7	7%
12	Participación de la comunidad	1	1	1/7	3	1/7	7%
13	Aceptación pública	7	7	1	9	1	41%
14	Generación de residuos sólidos	1/3	1/3	1/9	1	1/9	3%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	7	7	1	9	1	41%
B		16.33	16.33	2.40	25.00	2.40	
n		5					
Matriz normalizada		0.061	0.061	0.060	0.120	0.060	
		0.061	0.061	0.060	0.120	0.060	
		0.429	0.429	0.417	0.360	0.417	
		0.020	0.020	0.046	0.040	0.046	
		0.429	0.429	0.417	0.360	0.417	
VP		0.072					
		0.072					
		0.410					
		0.035					
		0.410					
Lambda Max		5.20					
índice de consistencia		0.049344326					
RI		1.12					
Relación de consistencia		4% RC<10%, OK					

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	35%	45%	16%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	35%	45%	16%
3	Operación y mantenimiento de la Red	13%	45%	6%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	13%	45%	6%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	3%	45%	1%
6	Suministro de Tuberías	15%	9%	1%
7	Colocación de Colectores	60%	9%	5%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	15%	9%	1%
9	Estaciones de bombeo	5%	9%	0%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	5%	9%	0%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	7%	45%	3%
12	Participación de la comunidad	7%	45%	3%
13	Aceptación pública	41%	45%	19%
14	Generación de residuos sólidos	3%	45%	2%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	41%	45%	19%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	5	5	3	5	1	1	5	1
Efluentes decantados	3	1	5	1	1	5	3	5
Condominial	1	3	3	3	1	3	1	3

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1	3	3	3	5	3	5
Efluentes decantados	1	1	1	1	1	1	1
Condominial	1	5	3	3	3	3	3

Alternativa	Puntaje
Convencional	51.1%
Efluentes decantados	19.8%
Condominial	29.1%

## Escenario 2

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	1/3	1	20%
Costos	3	1	3	60%
Socio-ambientales	1	1/3	1	20%
B	5.00	1.67	5.00	
n	3			
Matriz normalizada	0.200	0.200	0.200	
	0.600	0.600	0.600	
	0.200	0.200	0.200	
VP	0.200			
	0.600			
	0.200			
Lambda Max	3.00			
índice de consistencia	0			
RI	0.58			
Relación de consistencia	0% RC<10%, OK			

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	1	3	3	7	35%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	1	1	3	3	7	35%
3	Operación y mantenimiento de la Red	1/3	1/3	1	1	3	12%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	1/3	1/3	1	1	3	12%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	1/7	1/7	1/3	1/3	1	5%
B		2.81	2.81	8.33	8.33	21.00	
n		5					
Matriz normalizada		0.356	0.356	0.360	0.360	0.333	
		0.356	0.356	0.360	0.360	0.333	
		0.119	0.119	0.120	0.120	0.143	
		0.119	0.119	0.120	0.120	0.143	
		0.051	0.051	0.040	0.040	0.048	
VP		0.353					
		0.353					
		0.124					
		0.124					
		0.046					
Lambda Max		5.01					
índice de consistencia		0.003503901					
RI		1.12					
Relación de consistencia		0% RC<10%, OK					

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/7	1	3	1/7	7%
7	Colocación de Colectores	7	1	7	9	1	41%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1	1/7	1	3	1/7	7%
9	Estaciones de bombeo	1/3	1/9	1/3	1	1/9	3%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	7	1	7	9	1	41%
B		16.33	2.40	16.33	25.00	2.40	
n		5					
Matriz normalizada		0.061	0.060	0.061	0.120	0.060	
		0.429	0.417	0.429	0.360	0.417	
		0.061	0.060	0.061	0.120	0.060	
		0.020	0.046	0.020	0.040	0.046	
		0.429	0.417	0.429	0.360	0.417	
VP		0.072					
		0.410					
		0.072					
		0.035					
		0.410					
Lambda Max		5.20					
índice de consistencia		0.049344326					
RI		1.12					
Relación de consistencia		4% RC<10%, OK					

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	1/3	1/5	1	1/7	6%
12	Participación de la comunidad	3	1	1/3	1	1/5	11%
13	Aceptación pública	5	3	1	3	1/3	24%
14	Generación de residuos sólidos	1	1	1/3	1	1/7	8%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	7	5	3	7	1	52%
B		17.00	10.33	4.87	13.00	1.82	
n		5					
Matriz normalizada		0.059	0.032	0.041	0.077	0.079	
		0.176	0.097	0.068	0.077	0.110	
		0.294	0.290	0.205	0.231	0.183	
		0.059	0.097	0.068	0.077	0.079	
		0.412	0.484	0.616	0.538	0.550	
VP		0.058					
		0.106					
		0.241					
		0.076					
		0.520					
Lambda Max		5.18					
índice de consistencia		0.043768668					
RI		1.12					
Relación de consistencia		4% RC<10%, OK					

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	35%	20%	7%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	35%	20%	7%
3	Operación y mantenimiento de la Red	12%	20%	2%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	12%	20%	2%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	5%	20%	1%
6	Suministro de Tuberías	7%	60%	4%
7	Colocación de Colectores	41%	60%	25%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	7%	60%	4%
9	Estaciones de bombeo	3%	60%	2%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	41%	60%	25%
11	Possibilidad de uso de mano de obra no calificada	6%	20%	1%
12	Participación de la comunidad	11%	20%	2%
13	Aceptación pública	24%	20%	5%
14	Generación de residuos sólidos	8%	20%	2%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	52%	20%	10%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1
Efluentes decantados	3	1	5	1	1	5	3	5
Condominial	1	3	3	3	1	3	5	3

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1	3	1	5	5	3	5
Efluentes decantados	1	1	3	1	1	1	1
Condominial	1	5	1	3	3	3	3

Alternativa	Puntaje
Convencional	33.3%
Efluentes decantados	24.1%
Condominial	42.5%

### Escenario 3

#### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	3	1/5	18%
Costos	1/3	1	1/9	7%
Socio-ambientales	5	9	1	75%
B	6.33	13.00	1.31	
n	3			
Matriz normalizada	0.158	0.231	0.153	
	0.053	0.077	0.085	
	0.789	0.692	0.763	
VP	0.180			
	0.071			
	0.748			
Lambda Max	3.05			
índice de consistencia	0.026054271			
RI	0.58			
Relación de consistencia	4% RC<10%, OK			

#### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	1/5	1/3	1/3	1/7	5%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	5	1	3	3	1/3	25%
3	Operación y mantenimiento de la Red	3	1/3	1	1	1/5	11%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	3	1/3	1	1	1/5	11%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	7	3	5	5	1	50%
B		19.00	4.87	10.33	10.33	1.88	
n		5					
Matriz normalizada		0.053	0.041	0.032	0.032	0.076	
		0.263	0.205	0.290	0.290	0.178	
		0.158	0.068	0.097	0.097	0.107	
		0.158	0.068	0.097	0.097	0.107	
		0.368	0.616	0.484	0.484	0.533	
VP		0.047					
		0.245					
		0.105					
		0.105					
		0.497					
Lambda Max		5.19					
índice de consistencia		0.048482702					
RI		1.12					
Relación de consistencia		4% RC<10%, OK					

#### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/3	1	1/5	3	10%
7	Colocación de Colectores	3	1	3	1/3	5	24%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1	1/3	1	1/5	3	10%
9	Estaciones de bombeo	5	3	5	1	9	51%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	1/3	1/5	1/3	1/9	1	4%
B		10.33	4.87	10.33	1.84	21.00	
n		5					
Matriz normalizada		0.097	0.068	0.097	0.108	0.143	
		0.290	0.205	0.290	0.181	0.238	
		0.097	0.068	0.097	0.108	0.143	
		0.484	0.616	0.484	0.542	0.429	
		0.032	0.041	0.032	0.060	0.048	
VP		0.103					
		0.241					
		0.103					
		0.511					
		0.043					
Lambda Max		5.13					
índice de consistencia		0.033412299					
RI		1.12					
Relación de consistencia		3% RC<10%, OK					

#### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	1/3	1/7	1/5	1/7	4%
12	Participación de la comunidad	3	1	1/5	1/3	1/5	8%
13	Aceptación pública	7	5	1	3	1	36%
14	Generación de residuos sólidos	5	3	1/3	1	1/3	16%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	7	5	1	3	1	36%
B		23.00	14.33	2.68	7.53	2.68	
n		5					
Matriz normalizada		0.043	0.023	0.053	0.027	0.053	
		0.130	0.070	0.075	0.044	0.075	
		0.304	0.349	0.374	0.398	0.374	
		0.217	0.209	0.125	0.133	0.125	
		0.304	0.349	0.374	0.398	0.374	
VP		0.040					
		0.079					
		0.360					
		0.162					
		0.360					
Lambda Max		5.19					
índice de consistencia		0.048289109					
RI		1.12					
Relación de consistencia		4% RC<10%, OK					

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	5%	18%	1%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	25%	18%	4%
3	Operación y mantenimiento de la Red	11%	18%	2%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	11%	18%	2%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	50%	18%	9%
6	Suministro de Tuberías	10%	7%	1%
7	Colocación de Colectores	24%	7%	2%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	10%	7%	1%
9	Estaciones de bombeo	51%	7%	4%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	4%	7%	0%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	4%	75%	3%
12	Participación de la comunidad	8%	75%	6%
13	Aceptación pública	36%	75%	27%
14	Generación de residuos sólidos	16%	75%	12%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	36%	75%	27%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1
Efluentes decantados	3	1	5	1	3	5	5	5
Condominial	1	3	3	3	1	3	3	3

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1	3	1	3	5	3	5
Efluentes decantados	5	1	5	1	1	1	1
Condominial	1	5	3	3	3	3	3

Alternativa	Puntaje
Convencional	45,2%
Condominial	32,9%
Efluentes decantados	21,9%

## Escenario 4

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	1/5	1/5	9%
Costos	5	1	1	45%
Socio-ambientales	5	1	1	45%
B	11.00	2.20	2.20	
n	3			
Matriz normalizada	0.091	0.091	0.091	
	0.455	0.455	0.455	
	0.455	0.455	0.455	
VP	0.091			
	0.455			
	0.455			
Lambda Max	3.00			
índice de consistencia	0			
RI	0.58			
<b>Relación de consistencia</b>		<b>0% RC&lt;10%, OK</b>		

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	1/5	1/3	1/3	1/5	6%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	5	1	3	3	1	34%
3	Operación y mantenimiento de la Red	3	1/3	1	1	1/3	13%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	3	1/3	1	1	1/3	13%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	5	1	3	3	1	34%
B		17.00	2.87	8.33	8.33	2.87	
n		5					
Matriz normalizada		0.059	0.070	0.040	0.040	0.070	
		0.294	0.349	0.360	0.360	0.349	
		0.176	0.116	0.120	0.120	0.116	
		0.176	0.116	0.120	0.120	0.116	
		0.294	0.349	0.360	0.360	0.349	
VP		0.056					
		0.342					
		0.130					
		0.130					
		0.342					
Lambda Max		5.07					
índice de consistencia		0.01817565					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>2% RC&lt;10%, OK</b>				

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/3	1	1/7	3	9%
7	Colocación de Colectores	3	1	3	1/5	5	20%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1	1/3	1	1/7	3	9%
9	Estaciones de bombeo	7	5	7	1	9	58%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	1/3	1/5	1/3	1/9	1	4%
B		12.33	6.87	12.33	1.60	21.00	
n		5					
Matriz normalizada		0.081	0.049	0.081	0.089	0.143	
		0.243	0.146	0.243	0.125	0.238	
		0.081	0.049	0.081	0.089	0.143	
		0.568	0.728	0.568	0.626	0.429	
		0.027	0.029	0.027	0.070	0.048	
VP		0.089					
		0.199					
		0.089					
		0.584					
		0.040					
Lambda Max		5.33					
índice de consistencia		0.081560121					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>7% RC&lt;10%, OK</b>				

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	1/3	5	3	1/3	15%
12	Participación de la comunidad	3	1	7	5	1	35%
13	Aceptación pública	1/5	1/7	1	1/3	1/9	4%
14	Generación de residuos sólidos	1/3	1/5	3	1	1/7	7%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	3	1	9	7	1	39%
B		7.53	2.68	25.00	16.33	2.59	
n		5					
Matriz normalizada		0.133	0.125	0.200	0.184	0.129	
		0.398	0.374	0.280	0.306	0.387	
		0.027	0.053	0.040	0.020	0.043	
		0.044	0.075	0.120	0.061	0.055	
		0.398	0.374	0.360	0.429	0.387	
VP		0.154					
		0.349					
		0.037					
		0.071					
		0.389					
Lambda Max		5.18					
índice de consistencia		0.044626615					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>4% RC&lt;10%, OK</b>				

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	6%	9%	1%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	34%	9%	3%
3	Operación y mantenimiento de la Red	13%	9%	1%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	13%	9%	1%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	34%	9%	3%
6	Suministro de Tuberías	9%	45%	4%
7	Colocación de Colectores	20%	45%	9%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	9%	45%	4%
9	Estaciones de bombeo	58%	45%	27%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	4%	45%	2%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	15%	45%	7%
12	Participación de la comunidad	35%	45%	16%
13	Aceptación pública	4%	45%	2%
14	Generación de residuos sólidos	7%	45%	3%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	39%	45%	18%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1
Efluentes decantados	3	1	5	1	5	5	5	5
Condominial	1	3	3	3	1	3	3	3

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1	3	1	1	5	3	5
Efluentes decantados	5	1	3	3	1	1	1
Condominial	1	5	3	3	3	3	3

Alternativa	Puntaje
Efluentes decantados	44.5%
Condominial	30.4%
Convencional	25.1%

## Escenario 5

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	1/5	1/5	9%
Costos	5	1	1	45%
Socio-ambientales	5	1	1	45%
B	11.00	2.20	2.20	
n	3			
Matriz normalizada	0.091	0.091	0.091	
	0.455	0.455	0.455	
	0.455	0.455	0.455	
VP	0.091			
	0.455			
	0.455			
Lambda Max	3.00			
índice de consistencia	0			
RI	0.58			
Relación de consistencia	0% RC<10%, OK			

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	1/5	1/3	1/3	1/5	6%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	5	1	3	3	1	34%
3	Operación y mantenimiento de la Red	3	1/3	1	1	1/3	13%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	3	1/3	1	1	1/3	13%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	5	1	3	3	1	34%
B		17.00	2.87	8.33	8.33	2.87	
n		5					
Matriz normalizada		0.059	0.070	0.040	0.040	0.070	
		0.294	0.349	0.360	0.360	0.349	
		0.176	0.116	0.120	0.120	0.116	
		0.176	0.116	0.120	0.120	0.116	
		0.294	0.349	0.360	0.360	0.349	
VP		0.056					
		0.342					
		0.130					
		0.130					
		0.342					
Lambda Max		5.07					
índice de consistencia		0.01817565					
RI		1.12					
Relación de consistencia		2% RC<10%, OK					

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/7	1	1/7	3	7%
7	Colocación de Colectores	7	1	7	1	9	41%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1	1/7	1	1/7	3	7%
9	Estaciones de bombeo	7	1	7	1	9	41%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	1/3	1/9	1/3	1/9	1	3%
B		16.33	2.40	16.33	2.40	25.00	
n		5					
Matriz normalizada		0.061	0.060	0.061	0.060	0.120	
		0.429	0.417	0.429	0.417	0.360	
		0.061	0.060	0.061	0.060	0.120	
		0.429	0.417	0.429	0.417	0.360	
		0.020	0.046	0.020	0.046	0.040	
VP		0.072					
		0.410					
		0.072					
		0.410					
		0.035					
Lambda Max		5.20					
índice de consistencia		0.049344326					
RI		1.12					
Relación de consistencia		4% RC<10%, OK					

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	1/3	3	1	1/5	11%
12	Participación de la comunidad	3	1	5	3	1/3	25%
13	Aceptación pública	1/3	1/5	1	1/3	1/7	5%
14	Generación de residuos sólidos	1	1/3	3	1	1/5	11%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	5	3	7	5	1	50%
B		10.33	4.87	19.00	10.33	1.88	
n		5					
Matriz normalizada		0.097	0.068	0.158	0.097	0.107	
		0.290	0.205	0.263	0.290	0.178	
		0.032	0.041	0.053	0.032	0.076	
		0.097	0.068	0.158	0.097	0.107	
		0.484	0.616	0.368	0.484	0.533	
VP		0.105					
		0.245					
		0.047					
		0.105					
		0.497					
Lambda Max		5.19					
índice de consistencia		0.048482702					
RI		1.12					
Relación de consistencia		4% RC<10%, OK					

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	6%	9%	1%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	34%	9%	3%
3	Operación y mantenimiento de la Red	13%	9%	1%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	13%	9%	1%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	34%	9%	3%
6	Suministro de Tuberías	7%	45%	3%
7	Colocación de Colectores	41%	45%	19%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	7%	45%	3%
9	Estaciones de bombeo	41%	45%	19%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	3%	45%	2%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	11%	45%	5%
12	Participación de la comunidad	25%	45%	11%
13	Aceptación pública	5%	45%	2%
14	Generación de residuos sólidos	11%	45%	5%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	50%	45%	23%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1
Efluentes decantados	3	1	5	1	3	5	5	5
Condominial	1	3	3	3	1	3	3	3

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1	3	1	1	5	3	5
Efluentes decantados	5	1	3	5	1	1	1
Condominial	1	5	1	3	3	3	3

Alternativa	Puntaje
Efluentes decantados	43.1%
Convencional	27.6%
Condominial	29.4%

## Escenario 6

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	1/3	1	20%
Costos	3	1	3	60%
Socio-ambientales	1	1/3	1	20%
B	5.00	1.67	5.00	
n	3			
Matriz normalizada	0.200	0.200	0.200	
	0.600	0.600	0.600	
	0.200	0.200	0.200	
VP	0.200			
	0.600			
	0.200			
Lambda Max	3.00			
indice de consistencia	0			
RI	0.58			
Relación de consistencia	0% RC<10%, OK			

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	3	5	5	9	49%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	1/3	1	3	3	9	26%
3	Operación y mantenimiento de la Red	1/5	1/3	1	1	5	11%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	1/5	1/3	1	1	5	11%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	1/9	1/9	1/5	1/5	1	3%
B		1.84	4.78	10.20	10.20	29.00	
n		5					
Matriz normalizada		0.542	0.628	0.490	0.490	0.310	
		0.181	0.209	0.294	0.294	0.310	
		0.108	0.070	0.098	0.098	0.172	
		0.108	0.070	0.098	0.098	0.172	
		0.060	0.023	0.020	0.020	0.034	
VP		0.492					
		0.258					
		0.109					
		0.109					
		0.031					
Lambda Max		5.28					
indice de consistencia		0.07033545					
RI		1.12					
Relación de consistencia		6% RC<10%, OK					

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/5	1	1/7	1/7	5%
7	Colocación de Colectores	5	1	5	1/3	1/3	17%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1	1/5	1	1/7	1/7	5%
9	Estaciones de bombeo	7	3	7	1	1	37%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	7	3	7	1	1	37%
B		21.00	7.40	21.00	2.62	2.62	
n		5					
Matriz normalizada		0.048	0.027	0.048	0.055	0.055	
		0.238	0.135	0.238	0.127	0.127	
		0.048	0.027	0.048	0.055	0.055	
		0.333	0.405	0.333	0.382	0.382	
		0.333	0.405	0.333	0.382	0.382	
VP		0.046					
		0.173					
		0.046					
		0.367					
		0.367					
Lambda Max		5.15					
indice de consistencia		0.037000741					
RI		1.12					
Relación de consistencia		3% RC<10%, OK					

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	1	1/5	1	1/5	8%
12	Participación de la comunidad	1	1	1/5	1	1/5	8%
13	Aceptación pública	5	5	1	5	1/3	31%
14	Generación de residuos sólidos	1	1	1/5	1	1/5	8%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	5	5	3	5	1	46%
B		13.00	13.00	4.60	13.00	1.93	
n		5					
Matriz normalizada		0.077	0.077	0.043	0.077	0.103	
		0.077	0.077	0.043	0.077	0.103	
		0.385	0.385	0.217	0.385	0.172	
		0.077	0.077	0.043	0.077	0.103	
		0.385	0.385	0.652	0.385	0.517	
VP		0.076					
		0.076					
		0.309					
		0.076					
		0.465					
Lambda Max		5.26					
indice de consistencia		0.066128474					
RI		1.12					
Relación de consistencia		6% RC<10%, OK					

	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	49%	20%	10%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	26%	20%	5%
3	Operación y mantenimiento de la Red	11%	20%	2%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	11%	20%	2%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	3%	20%	1%
6	Suministro de Tuberías	5%	60%	3%
7	Colocación de Colectores	17%	60%	10%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	5%	60%	3%
9	Estaciones de bombeo	37%	60%	22%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	37%	60%	22%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	8%	20%	2%
12	Participación de la comunidad	8%	20%	2%
13	Aceptación pública	31%	20%	6%
14	Generación de residuos sólidos	8%	20%	2%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	46%	20%	9%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	5	5	3	5	1	1	1	1
Efluentes decantados	3	1	5	1	1	5	1	5
Condominial	1	3	3	3	1	3	5	3

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1	1	1	5	5	3	5
Efluentes decantados	5	1	3	1	1	1	1
Condominial	1	5	1	3	3	3	3

Alternativa	Puntaje
Condominial	39,1%
Convencional	29,1%
Efluentes decantados	31,8%

## **10. ANEXO – MATRICES DE COMPARACIÓN – GRUPO ENTREVISTAS**

## Escenario 2 Grupo de Expertos

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	1	1	32%
Costos	1	1	1	34%
Socio-ambientales	1	1	1	34%
B	3.13	2.94	2.95	
n	3			
Matriz normalizada	0.320	0.322	0.318	
	0.339	0.341	0.342	
	0.341	0.338	0.340	
VP	0.320			
	0.341			
	0.340			
Lambda Max	3.00			
índice de consistencia	1.62629E-05			
RI	0.58			
<b>Relación de consistencia</b>		<b>0% RC&lt;10%, OK</b>		

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	1/5	1/3	3/8	4	9%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	4 6/7	1	2 4/5	3	8 3/4	46%
3	Operación y mantenimiento de la Red	3	1/3	1	1 2/7	6 1/3	22%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	2 5/8	1/3	7/9	1	5 4/5	19%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	1/4	1/9	1/6	1/6	1	4%
B		11.69	2.02	5.09	5.78	25.77	
n		5					
Matriz normalizada		0.086	0.102	0.067	0.066	0.152	
		0.415	0.496	0.552	0.510	0.340	
		0.252	0.177	0.196	0.221	0.245	
		0.225	0.168	0.154	0.173	0.225	
		0.022	0.057	0.031	0.030	0.039	
VP		0.094					
		0.463					
		0.218					
		0.189					
		0.036					
Lambda Max		5.16					
índice de consistencia		0.039562256					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>4% RC&lt;10%, OK</b>				

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/5	1/2	3 5/9	1/5	9%
7	Colocación de Colectores	4 4/5	1	3 1/2	7 3/4	1	37%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1 5/6	2/7	1	4 2/7	1/4	13%
9	Estaciones de bombeo	2/7	1/8	1/4	1	1/8	4%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	5	1	3 2/3	7 3/4	1	38%
B		12.84	2.63	8.93	24.36	2.60	
n		5					
Matriz normalizada		0.078	0.079	0.061	0.146	0.078	
		0.375	0.381	0.387	0.318	0.384	
		0.143	0.110	0.112	0.176	0.104	
		0.022	0.049	0.026	0.041	0.050	
		0.382	0.381	0.414	0.318	0.384	
VP		0.088					
		0.369					
		0.129					
		0.038					
		0.376					
Lambda Max		5.15					
índice de consistencia		0.037612279					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>3% RC&lt;10%, OK</b>				

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	1/3	3/8	1 1/3	2/9	9%
12	Participación de la comunidad	2 8/9	1	8/9	2 5/8	3/7	20%
13	Aceptación pública	2 3/5	1 1/8	1	2 2/5	3/8	20%
14	Generación de residuos sólidos	3/4	3/8	3/7	1	2/9	8%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	4 1/2	2 3/8	2 2/3	4 5/8	1	43%
B		11.76	5.23	5.34	11.97	2.24	
n		5					
Matriz normalizada		0.085	0.066	0.072	0.110	0.099	
		0.246	0.191	0.166	0.220	0.188	
		0.222	0.216	0.187	0.200	0.168	
		0.065	0.073	0.078	0.084	0.097	
		0.382	0.454	0.497	0.387	0.447	
VP		0.086					
		0.202					
		0.199					
		0.079					
		0.434					
Lambda Max		5.05					
índice de consistencia		0.013009432					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>1% RC&lt;10%, OK</b>				

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	9%	32%	3%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	46%	32%	15%
3	Operación y mantenimiento de la Red	22%	32%	7%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	19%	32%	6%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	4%	32%	1%
6	Suministro de Tuberías	9%	34%	3%
7	Colocación de Colectores	37%	34%	13%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	13%	34%	4%
9	Estaciones de bombeo	4%	34%	1%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	38%	34%	13%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	9%	34%	3%
12	Participación de la comunidad	20%	34%	7%
13	Aceptación pública	20%	34%	7%
14	Generación de residuos sólidos	8%	34%	3%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	43%	34%	15%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	5.0	5.0	2.8	4.7	1.0	1.0	1.1	1.0
Efluentes decantados	2.2	1.8	5.0	1.3	1.0	5.0	4.0	5.0
Condominial	1.3	1.4	1.5	2.6	1.0	3.0	3.4	3.0

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1.0	2.4	1.3	4.7	4.7	3.0	4.2
Efluentes decantados	1.0	1.0	2.1	1.8	1.4	1.0	1.3
Condominial	1.0	5.0	2.0	1.6	2.1	2.8	1.6

Alternativa	Puntaje
Convencional	41.5%
Efluentes decantados	27.8%
Condominial	30.6%

## Escenario 2 Grupo de Expertos - Modificado

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	1/3	1	20%
Costos	3	1	3	60%
Socio-ambientales	1	1/3	1	20%
B	5.07	1.67	4.94	
n	3			
Matriz normalizada	0.197	0.200	0.190	
	0.592	0.600	0.608	
	0.211	0.200	0.203	
VP	0.196			
	0.600			
	0.204			
Lambda Max	3.00			
índice de consistencia	0.000312787			
RI	0.58			
<b>Relación de consistencia</b>		<b>0% RC&lt;10%, OK</b>		

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	1/5	1/3	3/8	4	9%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	4 6/7	1	2 4/5	3	8 3/4	46%
3	Operación y mantenimiento de la Red	3	1/3	1	1 2/7	6 1/3	22%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	2 5/8	1/3	7/9	1	5 4/5	19%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	1/4	1/9	1/6	1/6	1	4%
B		11.69	2.02	5.09	5.78	25.77	
n		5					
Matriz normalizada		0.086	0.102	0.067	0.066	0.152	
		0.415	0.496	0.552	0.510	0.340	
		0.252	0.177	0.196	0.221	0.245	
		0.225	0.168	0.154	0.173	0.225	
		0.022	0.057	0.031	0.030	0.039	
VP		0.094					
		0.463					
		0.218					
		0.189					
		0.036					
Lambda Max		5.16					
índice de consistencia		0.039562256					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>4% RC&lt;10%, OK</b>				

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/5	1/2	3 5/9	1/5	9%
7	Colocación de Colectores	4 4/5	1	3 1/2	7 3/4	1	37%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1 5/6	2/7	1	4 2/7	1/4	13%
9	Estaciones de bombeo	2/7	1/8	1/4	1	1/8	4%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	5	1	3 2/3	7 3/4	1	38%
B		12.84	2.63	8.93	24.36	2.60	
n		5					
Matriz normalizada		0.078	0.079	0.061	0.146	0.078	
		0.375	0.381	0.387	0.318	0.384	
		0.143	0.110	0.112	0.176	0.104	
		0.022	0.049	0.026	0.041	0.050	
		0.382	0.381	0.414	0.318	0.384	
VP		0.088					
		0.369					
		0.129					
		0.038					
		0.376					
Lambda Max		5.15					
índice de consistencia		0.037612279					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>3% RC&lt;10%, OK</b>				

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	1/3	3/8	1 1/3	2/9	9%
12	Participación de la comunidad	2 8/9	1	8/9	2 5/8	3/7	20%
13	Aceptación pública	2 3/5	1 1/8	1	2 2/5	3/8	20%
14	Generación de residuos sólidos	3/4	3/8	3/7	1	2/9	8%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	4 1/2	2 3/8	2 2/3	4 5/8	1	43%
B		11.76	5.23	5.34	11.97	2.24	
n		5					
Matriz normalizada		0.085	0.066	0.072	0.110	0.099	
		0.246	0.191	0.166	0.220	0.188	
		0.222	0.216	0.187	0.200	0.168	
		0.065	0.073	0.078	0.084	0.097	
		0.382	0.454	0.497	0.387	0.447	
VP		0.086					
		0.202					
		0.199					
		0.079					
		0.434					
Lambda Max		5.05					
índice de consistencia		0.013009432					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>			<b>1% RC&lt;10%, OK</b>				

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	9%	20%	2%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	46%	20%	9%
3	Operación y mantenimiento de la Red	22%	20%	4%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	19%	20%	4%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	4%	20%	1%
6	Suministro de Tuberías	9%	60%	5%
7	Colocación de Colectores	37%	60%	22%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	13%	60%	8%
9	Estaciones de bombeo	4%	60%	2%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	38%	60%	23%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	9%	20%	2%
12	Participación de la comunidad	20%	20%	4%
13	Aceptación pública	20%	20%	4%
14	Generación de residuos sólidos	8%	20%	2%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	43%	20%	9%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	5.0	5.0	2.8	4.7	1.0	1.0	1.1	1.0
Efluentes decantados	2.2	1.8	5.0	1.3	1.0	5.0	4.0	5.0
Condominial	1.3	1.4	1.5	2.6	1.0	3.0	3.4	3.0

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1.0	2.4	1.3	4.7	4.7	3.0	4.2
Efluentes decantados	1.0	1.0	2.1	1.8	1.4	1.0	1.3
Condominial	1.0	5.0	2.0	1.6	2.1	2.8	1.6

Alternativa	Puntaje
Convencional	32.7%
Efluentes decantados	30.7%
Condominial	36.5%

## Escenario 4 Grupo de Expertos

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	4/7	1/2	21%
Costos	1 5/7	1	3/4	35%
Socio-ambientales	2	1 1/3	1	44%
B	4.64	2.90	2.28	
n	3			
Matriz normalizada	0.216	0.201	0.228	
	0.370	0.345	0.333	
	0.415	0.454	0.439	
VP	0.215			
	0.349			
	0.436			
Lambda Max	3.00			
índice de consistencia	0.001530179			
RI	0.58			
Relación de consistencia		0%	RC<10%, OK	

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	2/7	1/3	1/3	2/9	6%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	3 1/2	1	1 1/2	1 2/3	1	28%
3	Operación y mantenimiento de la Red	3	2/3	1	1	5/8	18%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	3 1/3	3/5	1	1	5/8	19%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	4 3/5	1	1 3/5	1 3/5	1	29%
B		15.48	3.50	5.48	5.57	3.49	
n		5					
Matriz normalizada		0.065	0.081	0.059	0.054	0.062	
		0.227	0.285	0.282	0.298	0.295	
		0.198	0.185	0.183	0.179	0.178	
		0.213	0.172	0.183	0.179	0.178	
		0.296	0.277	0.294	0.289	0.286	
VP		0.064					
		0.278					
		0.185					
		0.185					
		0.288					
Lambda Max		5.02					
índice de consistencia		0.004707872					
RI		1.12					
Relación de consistencia			0%	RC<10%, OK			

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/3	4/5	1/6	1 1/7	8%
7	Colocación de Colectores	3	1	3	2/7	3	22%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1 1/4	1/3	1	1/5	1 1/7	9%
9	Estaciones de bombeo	5 5/9	3 4/9	5 1/3	1	5 6/7	52%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	7/8	1/3	7/8	1/6	1	8%
B		11.71	5.46	10.99	1.83	12.09	
n		5					
Matriz normalizada		0.085	0.060	0.073	0.099	0.095	
		0.260	0.183	0.273	0.158	0.243	
		0.107	0.061	0.091	0.103	0.095	
		0.474	0.633	0.484	0.547	0.484	
		0.074	0.062	0.079	0.093	0.083	
VP		0.082					
		0.223					
		0.091					
		0.524					
		0.078					
Lambda Max		5.09					
índice de consistencia		0.023717188					
RI		1.12					
Relación de consistencia			2%	RC<10%, OK			

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	3/8	3/4	2 1/2	5/7	15%
12	Participación de la comunidad	2 2/3	1	1 5/6	4 4/5	1 2/5	36%
13	Aceptación pública	1 1/3	5/9	1	2 2/3	5/6	19%
14	Generación de residuos sólidos	2/5	1/5	3/8	1	3/8	7%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	1 2/5	5/7	1 1/5	2 2/3	1	22%
B		6.82	2.84	5.14	13.64	4.34	
n		5					
Matriz normalizada		0.147	0.131	0.146	0.186	0.164	
		0.394	0.352	0.356	0.351	0.323	
		0.196	0.192	0.195	0.196	0.195	
		0.058	0.074	0.073	0.073	0.087	
		0.206	0.251	0.230	0.194	0.231	
VP		0.155					
		0.355					
		0.195					
		0.073					
		0.222					
Lambda Max		5.02					
índice de consistencia		0.005939057					
RI		1.12					
Relación de consistencia			1%	RC<10%, OK			

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	Ponderador Global
1	Aceptación Técnica	6%	21%	1%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	28%	21%	6%
3	Operación y mantenimiento de la Red	18%	21%	4%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	19%	21%	4%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	29%	21%	6%
6	Suministro de Tuberías	8%	35%	3%
7	Colocación de Colectores	22%	35%	8%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	9%	35%	3%
9	Estaciones de bombeo	52%	35%	18%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	8%	35%	3%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	15%	44%	7%
12	Participación de la comunidad	36%	44%	15%
13	Aceptación pública	19%	44%	8%
14	Generación de residuos sólidos	7%	44%	3%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	22%	44%	10%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	4.1	5.0	2.6	3.8	1.0	1.0	1.1	1.0
Efluentes decantados	1.9	1.6	4.1	1.3	4.3	5.0	4.7	5.0
Condominial	1.3	1.3	1.1	3.0	1.0	3.0	2.8	3.0

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1.0	1.7	1.1	1.2	3.8	3.2	3.6
Efluentes decantados	4.5	1.0	3.1	3.4	2.0	1.0	1.5
Condominial	1.3	3.7	3.0	2.9	1.3	2.6	1.6

Alternativa	Puntaje
Efluentes decantados	43.5%
Condominial	27.8%
Convencional	28.6%

## Escenario 4 Grupo de Expertos - Modificado

### Comparación de Criterios

	Técnicos	Costos	Socio-ambientales	VP
Técnicos	1	7	7	78%
Costos	1/7	1	1	11%
Socio-ambientales	1/7	1	1	11%
B	1.29	9.00	9.00	
n	3			
Matriz normalizada	0.778	0.778	0.778	
	0.111	0.111	0.111	
	0.111	0.111	0.111	
VP	0.778			
	0.111			
	0.111			
Lambda Max	3.00			
índice de consistencia	0			
RI	0.58			
<b>Relación de consistencia</b>	<b>0% RC&lt;10%, OK</b>			

### Comparación de subcriterios técnicos

#	Subcriterio	1	2	3	4	5	VP
1	Aceptación Técnica	1	2/3	1	1	1	18%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	1 1/2	1	1 1/2	1 1/2	1	25%
3	Operación y mantenimiento de la Red	1	2/3	1	1	1	18%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	1	2/3	1	1	1	18%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	1	1	1	1	1	20%
B		5.50	4.00	5.50	5.50	5.00	
n		5					
Matriz normalizada		0.182	0.167	0.182	0.182	0.200	
		0.273	0.250	0.273	0.273	0.200	
		0.182	0.167	0.182	0.182	0.200	
		0.182	0.167	0.182	0.182	0.200	
		0.182	0.250	0.182	0.182	0.200	
VP		0.182					
		0.254					
		0.182					
		0.182					
		0.199					
Lambda Max		5.02					
índice de consistencia		0.005					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>	<b>0% RC&lt;10%, OK</b>						

### Comparación de subcriterios de costos

#	Subcriterio	6	7	8	9	10	VP
6	Suministro de Tuberías	1	1/3	4/5	1/6	1 1/7	8%
7	Colocación de Colectores	3	1	3	2/7	3	22%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	1 1/4	1/3	1	1/5	1 1/7	9%
9	Estaciones de bombeo	5 5/9	3 4/9	5 1/3	1	5 6/7	52%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	7/8	1/3	7/8	1/6	1	8%
B		11.71	5.46	10.99	1.83	12.09	
n		5					
Matriz normalizada		0.085	0.060	0.073	0.099	0.095	
		0.260	0.183	0.273	0.158	0.243	
		0.107	0.061	0.091	0.103	0.095	
		0.474	0.633	0.484	0.547	0.484	
		0.074	0.062	0.079	0.093	0.083	
VP		0.082					
		0.223					
		0.091					
		0.524					
		0.078					
Lambda Max		5.09					
índice de consistencia		0.023717188					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>	<b>2% RC&lt;10%, OK</b>						

### Comparación de subcriterios de socio-ambientales

#	Subcriterio	11	12	13	14	15	VP
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	1	3/8	3/4	2 1/2	5/7	15%
12	Participación de la comunidad	2 2/3	1	1 5/6	4 4/5	1 2/5	36%
13	Aceptación pública	1 1/3	5/9	1	2 2/3	5/6	19%
14	Generación de residuos sólidos	2/5	1/5	3/8	1	3/8	7%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	1 2/5	5/7	1 1/5	2 2/3	1	22%
B		6.82	2.84	5.14	13.64	4.34	
n		5					
Matriz normalizada		0.147	0.131	0.146	0.186	0.164	
		0.394	0.352	0.356	0.351	0.323	
		0.196	0.192	0.195	0.196	0.195	
		0.058	0.074	0.073	0.073	0.087	
		0.206	0.251	0.230	0.194	0.231	
VP		0.155					
		0.355					
		0.195					
		0.073					
		0.222					
Lambda Max		5.02					
índice de consistencia		0.005939057					
RI		1.12					
<b>Relación de consistencia</b>	<b>1% RC&lt;10%, OK</b>						

#	Subcriterio	Ponderador local	Ponderador Criterio	ponderador Global
1	Aceptación Técnica	18%	78%	14%
2	Vulnerabilidad ante uso inapropiado	25%	78%	20%
3	Operación y mantenimiento de la Red	18%	78%	14%
4	Operación y mantenimiento de instalaciones	18%	78%	14%
5	Tipo de tratamiento de efluente recolectados	20%	78%	15%
6	Suministro de Tuberías	8%	11%	1%
7	Colocación de Colectores	22%	11%	2%
8	Construcción o Suministro de Elementos Singulares	9%	11%	1%
9	Estaciones de bombeo	52%	11%	6%
10	Adecuación de Sanitaria interna/conectividad	8%	11%	1%
11	Posibilidad de uso de mano de obra no calificada	15%	11%	2%
12	Participación de la comunidad	36%	11%	4%
13	Aceptación pública	19%	11%	2%
14	Generación de residuos sólidos	7%	11%	1%
15	Riesgo de salud para operarios/usuarios	22%	11%	2%

Alternativa/Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8
Convencional	4.1	5.0	2.6	3.8	1.0	1.0	1.1	1.0
Efluentes decantados	1.9	1.6	4.1	1.3	4.3	5.0	4.7	5.0
Condominial	1.3	1.3	1.1	3.0	1.0	3.0	2.8	3.0

Alternativa/Criterio	9	10	11	12	13	14	15
Convencional	1.0	1.7	1.1	1.2	3.8	3.2	3.6
Efluentes decantados	4.5	1.0	3.1	3.4	2.0	1.0	1.5
Condominial	1.3	3.7	3.0	2.9	1.3	2.6	1.6

Alternativa	Puntaje
Efluentes decantados	38.2%
Condominial	22.2%
Convencional	39.6%