

CAPÍTULO XVIII. ESTUDIOS AMBIENTALES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ¿POR QUÉ EVALUAR IMPACTOS AMBIENTALES?	1
1.2. ETAPAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE. IMPLICANCIAS AMBIENTALES	4
1.3. CONCEPTOS Y TIPOLOGÍA DE IMPACTOS AMBIENTALES	6
1.4. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES (EIA)	9
1.4.1. <i>Metas y Objetivos</i>	9
1.4.2. <i>Tipos de Evaluación de Impactos Ambientales</i>	10
2. CONTENIDOS MÍNIMOS DE UNA EIA EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE	11
2.1. DELIMITACIÓN DEL AREA DE INFLUENCIA.....	13
2.2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	14
3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	19
3.1. INTRODUCCIÓN.....	19
3.2. IMPACTOS RELACIONADOS CON LA CAPTACIÓN DE AGUA	22
3.2.1. <i>Impactos Durante la Etapa de Construcción</i>	22
3.2.1.1. Obras de Captación	22
3.2.1.2. Construcción de Acueductos	23
3.2.2. <i>Impactos Durante la Etapa de Operación</i>	23
3.2.2.1. Impactos Comunes al Aprovechamiento de Agua Superficial y Subterránea	25
3.2.2.2. Impactos Relacionados con el Aprovechamiento de Fuentes de Agua Superficial	27
3.2.2.3. Impactos Relacionados con la Creación de Represas: Un Caso Particular.....	29
3.2.2.4. Impactos Relacionados con el Aprovechamiento de Fuentes de Agua Subterránea..	30
3.2.2.5. Impactos Relacionados con el Aprovechamiento del Agua de Lluvia.....	34
3.3. IMPACTOS RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE AGUA	34
3.3.1. <i>Impactos Durante la Etapa de Construcción</i>	34
3.3.2. <i>Impactos Durante la Etapa de Operación</i>	35

3.3.2.1. Deficiencias en el Tratamiento.....	35
3.3.2.2. Disposición de Lodos y Sólidos	37
3.4. IMPACTOS RELACIONADOS CON EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE.....	37
3.4.1. <i>Impactos Durante la Etapa de Construcción</i>	37
3.4.2. <i>Impactos Durante la Etapa de Operación</i>	38
3.4.2.1. Contaminación del Agua Distribuida.....	39
3.4.2.2. Pérdidas de Agua Potable	39
3.4.2.3. Continuidad en el Abastecimiento de Agua Potable.....	40
3.5. IMPACTOS RELACIONADOS CON EL MANEJO DE LOS LÍQUIDOS CLOACALES	40
3.5.1. <i>Impactos Durante la Etapa de Operación</i>	41
3.5.2. <i>Impactos Durante la Etapa de Construcción</i>	42
4. MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES	43
4.1. INTRODUCCIÓN	43
4.2. SELECCIÓN DE MÉTODOS.....	43
4.3. LIMITACIONES Y ALCANCES.....	45
4.4. MÉTODOS INDIRECTOS: LISTAS DE CONTROL Y MATRICES	46
4.4.1. <i>Listas de Control</i>	46
4.4.1.1. Ejemplo 1: Lista Descriptiva.....	47
4.4.1.2. Ejemplo 2: Listas Escalares	47
4.4.2. <i>Matrices</i>	51
4.4.2.1. Matriz de Leopold.....	51
4.4.2.2. Método de Fisher-Davies	53
4.5. MÉTODOS INDIRECTOS: INDICES.....	54
4.5.1. <i>Introducción</i>	54
4.5.2. <i>Aplicación en EIAs Para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable</i>	54
4.5.3. <i>Indices de Calidad Ambiental (ICAs)</i>	55
4.5.3.1. Método Battelle Columbus (Battelle Environmental Evaluation System 1972)	55
4.5.3.2. Otros Indices de Calidad Ambiental	60
4.5.4. <i>Otros Indices</i>	63
4.5.4.1. Ejemplo 1: Índice de Impacto Ambiental Potencial (IAP).....	63
4.5.4.2. Ejemplo 2: Indices Para Evaluar Metas de Calidad del Servicio	68
4.6. MÉTODOS DIRECTOS: ANÁLISIS ESPACIALES MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS)	75
4.6.1. <i>Introducción</i>	75
4.6.2. <i>Aplicación en EIAs Para Proyectos de Abastecimiento de Agua Potable</i>	76
4.6.3. <i>Obtención de Mapas de Sensibilidad Ambiental</i>	77
4.7. EJEMPLO HIPOTÉTICO DE APLICACIÓN DE UN GIS: EVALUACIÓN DE LA APTITUD AMBIENTAL PARA LA INSTALACIÓN DE UN ACUEDUCTO	81
4.7.1. <i>Objetivos y Alcances</i>	81
4.7.2. <i>Selección de Variables Ambientales Representativas</i>	81
4.7.3. <i>Criterios Para la Valoración de Aptitud Ambiental</i>	82
4.7.3.1. Aptitud Ambiental Según la Geomorfología	83
4.7.3.2. Aptitud Ambiental Según las Características Geotécnicas de los Suelos.....	84
4.7.3.3. Aptitud Ambiental Según la Profundidad de la Primera Napa	84

4.7.3.4. Aptitud Ambiental Según la Vegetación	85
4.7.3.5. Aptitud Ambiental Según las Áreas Naturales Protegidas	86
4.7.3.6. Aptitud Ambiental Según el Uso del Suelo.....	86
4.7.3.7. Aptitud Ambiental Según la Accesibilidad	87
4.7.3.8. Aptitud Ambiental Según la Distancia al Borde del Área Urbana.....	88
4.7.4. <i>Elaboración de Mapas de Aptitud Ambiental</i>	88
4.7.4.1. Procedimiento Analítico	88
4.7.4.2. Distribución de la Aptitud Ambiental Según Recursos.....	90
4.7.4.3. Distribución de la Aptitud Ambiental Global	93
4.7.5. <i>Identificación, Comparación y Selección de Trazas Alternativas Según la Aptitud Ambiental</i>	93
4.8. MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA IMPACTOS ABIÓTICOS	104
4.8.1. <i>Impactos por Captación de Agua de la Fuente</i>	104
4.8.2. <i>Balance Hídrico</i>	106
4.8.2.1. Balance de Aguas Superficiales	108
4.8.2.2. Balance de Aguas Subterráneas	108
4.8.3. <i>Cálculo de Reservas</i>	110
4.8.4. <i>Ensayos de Bombeo</i>	112
4.8.5. <i>Métodos Hidrodinámicos</i>	114
4.8.6. <i>Métodos Hidroquímicos e Isotópicos</i>	116
4.8.7. <i>Elaboración de Mapas de Vulnerabilidad y Mapas de Riesgo</i>	117
4.8.8. <i>Estudio de las Relaciones Entre el Agua Dulce y el Agua Salada</i>	117
4.8.9. <i>Modelos de Acuíferos</i>	118
4.9. MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA IMPACTOS BIÓTICOS	119
4.9.1. <i>Introducción</i>	119
4.9.2. <i>Índices Para Evaluar Impactos Ecológicos</i>	120
4.9.3. <i>Métodos Basados en el Hábitat</i>	120
4.9.3.1. Sistema de Valoración del Hábitat (HES).....	121
4.9.3.2. Procedimiento de Valoración del Hábitat (HEP).....	124
4.10. MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA IMPACTOS CULTURALES	124
4.10.1. <i>Impactos Visuales</i>	124
4.10.2. <i>Impactos Arqueológicos e Históricos</i>	126
5. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL(PMA)	127
5.1. OBJETIVOS	127
5.2. CLASIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL	128
5.3. METODOLOGÍA DE MONITOREO AMBIENTAL	130
5.3.1. <i>Por Qué Monitorear Impactos Ambientales</i>	130
5.3.2. <i>Objetivos y Alcances</i>	131
5.3.3. <i>Métodos de Monitoreo Utilizados Comúnmente</i>	132
5.3.3.1. Diseño BACI (<i>Before-After-Control-Impact</i>) de Monitoreo Ambiental.....	133
5.3.3.2. Diseño BACIPS (<i>Before-After-Control-Impact Paired Series</i>) de Monitoreo Ambiental	133
5.3.4. <i>Ejemplo Hipotético de Monitoreo Ambiental</i>	134
5.3.4.1. Planteo del Caso. Monitoreo Ambiental Previo.....	134
5.3.4.2. Resultados del Monitoreo de la Calidad del Agua	137
5.3.4.3. Conclusiones	140
5.4. MEDIDAS TÍPICAS DE PROTECCIÓN Y MONITOREO AMBIENTAL	140

5.4.1. <i>Medidas Generales</i>	142
5.4.2. <i>Medidas Relacionadas con la Fuente de Agua</i>	154
5.4.3. <i>Medidas Relacionadas con la Captación de Agua</i>	161
5.4.4. <i>Medidas Relacionadas con el Tratamiento del Agua</i>	167
5.4.5. <i>Medidas Relacionadas con el Sistema de Distribución de Agua</i>	171
6. PLAN DE CONTINGENCIAS AMBIENTALES	175
6.1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y ALCANCES	175
6.2. CLASIFICACIÓN DE AMENAZAS	176
6.3. CREACIÓN DEL COMITÉ DE EMERGENCIA	178
6.3.1. <i>Objetivos</i>	178
6.3.2. <i>Funciones y Responsabilidades</i>	179
6.4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	180
6.4.1. <i>Objetivos y Niveles de Análisis</i>	180
6.4.2. <i>Evaluación de las Amenazas y Estimación de la Vulnerabilidad</i>	181
6.4.3. <i>Identificación de los Componentes Críticos</i>	183
6.5. ELABORACIÓN DE PLANES DE EMERGENCIA	185
7. IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES POR CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE REPRESAS	187
7.1. IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA.....	188
7.2. IMPACTOS SOBRE EL ECOSISTEMA.....	189
7.3. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA	190
7.4. MEDIDAS TÍPICAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE REPRESAS.....	190
8. BIBLIOGRAFÍA	191

LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS

Tabla 1. Categorías ambientales en que puede clasificarse un proyecto según los lineamientos del ENOHSA (CoFAPyS 1994)	2
Tabla 2. Ejemplos para las tres categorías de clasificación de proyectos de abastecimiento de agua potable.....	2
Tabla 3. Características de los impactos ambientales utilizadas con mayor frecuencia en procesos de evaluaciones expeditivas	8
Tabla 4. Secciones que conforman un EAP y una EIA.....	11
Tabla 5. Ejemplos de variables e indicadores utilizados para cuantificar las obras y tareas generadoras de impactos ambientales de un proyecto de abastecimiento de agua potable.....	12
Tabla 6. Lista de variables del medio e información abiótica a tener en cuenta en el diagnóstico del área de influencia de proyectos de abastecimiento de agua potable	16
Tabla 7. Lista de variables del medio e información biológica a tener en cuenta en el diagnóstico ambiental del área de influencia de proyectos de abastecimiento de agua potable	17
Tabla 8. Lista de variables del medio e información antrópica a tener en cuenta en el diagnóstico ambiental del área de influencia de proyectos de saneamiento	18
Tabla 9. Lista de posibles impactos ambientales que pueden generarse durante la operación de un sistema de abastecimiento de agua potable.....	21
Tabla 10. Lista de posibles impactos ambientales que pueden generarse por la construcción de un sistema de abastecimiento de agua potable.....	21
Tabla 11. Comparación entre los diversos tipos de fuentes de agua en relación a las implicancias ambientales (Fuente: adaptado de Barros <i>et al.</i> 1995).....	24
Tabla 12. Lista de impactos ambientales que pueden generarse por la operación de un sistema de manejo de líquidos cloacales	41
Tabla 13. Lista de impactos ambientales que pueden generarse por la construcción de un sistema de manejo de líquidos cloacales	42
Tabla 14. Características principales de los enfoques metodológicos comúnmente utilizados para evaluar impactos ambientales.....	45
Tabla 15. Identificación de los impactos ambientales potenciales generados por tres alternativas en la construcción de las obras del proyecto de agua potable para la Localidad de Tres Isletas (HYTSA 1998).....	48
Tabla 16. Ejemplos de criterios adoptados comúnmente para evaluar impactos ambientales.....	49
Tabla 17. Ejemplo hipotético de ponderación de impactos ambientales potenciales generados por dos alternativas posibles en la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable.....	50
Tabla 18. Ejemplo de valoración de los aspectos afectados por los impactos ambientales potenciales utilizada para calcular los VIP en la EIA del proyecto de optimización de los servicios de agua potable y cloacales de la localidad de Río Segundo (HYTSA 1998).....	51
Tabla 19. Matriz de Leopold modificada para proyectos de saneamiento	52
Tabla 20. Tabla para la evaluación de las condiciones ambientales iniciales según el Método de Fisher & Davies (1973).....	53
Tabla 21. Lista de impactos ambientales explicados en la Sección 3 (Tabla 9) que pueden ser evaluados mediante el uso de índices	55
Tabla 22. Parámetros ambientales del Sistema de Evaluación Ambiental de Battelle Columbus (Battelle 1972)	57
Tabla 23. Ejemplo hipotético de los pasos a seguir para evaluar los impactos mediante el método Battelle (EES).....	60
Tabla 24. Ejemplos de parámetros ambientales utilizados comúnmente para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (Fuente: adaptado de Fernández Vítora 1997)	62

Tabla 25. Variables y criterios adoptados para el cálculo del ISA en la evaluación de impactos ambientales generados por la construcción de los colectores en el sistema cloacal del Gran San Juan (HYTSA 1998).....	65
Tabla 26. Valores de Importancia del Parámetro (VIP) de las variables utilizadas en el cálculo del ISA para evaluar los impactos ambientales generados por la construcción de los colectores en el sistema cloacal del Gran San Juan (HYTSA 1998).....	66
Tabla 27. Variables y criterios adoptados para calcular el IDP en la evaluación de impactos ambientales generados por la construcción de los colectores en el sistema cloacal del Gran San Juan (HYTSA 1998).....	67
Tabla 28. Valores de Importancia del Parámetro (VIP) de las variables utilizadas en el cálculo del ISA para evaluar los impactos ambientales generados por la construcción de los colectores en el sistema cloacal del Gran San Juan (HYTSA 1998).....	68
Tabla 29. Criterios de categorización y valoración para las variables utilizadas para evaluar los impactos ambientales existentes en el sistema de agua potable de la Provincia de Catamarca (HYTSA 1996).....	69
Tabla 30. Índices utilizados para evaluar del grado de cumplimiento de las metas de calidad del agua y control de la contaminación en la Provincia de Corrientes (HYTSA 1998)	72
Tabla 31. Criterios de categorización y asignación de valores a las variables del índice de control de la eficiencia del tratamiento de potabilización	73
Tabla 32. Criterios y valoración utilizados para categorizar las variables en la evaluación del grado de cumplimiento de las metas de calidad del agua y control de la contaminación en la Provincia de Corrientes (HYTSA 1998)	74
Tabla 33. Impactos explicados en la Sección 3 (Tabla 9) que pueden ser evaluados y monitoreados mediante análisis geográficos.....	77
Tabla 34. Ejemplos de variables estructurales y funcionales que pueden emplearse para la elaboración de mapas interpretativos	78
Tabla 35. Ejemplos de índices utilizados en la elaboración de mapas de significado y restricción ambiental a partir de variables estructurales y funcionales respectivamente	79
Tabla 36. Variables consideradas en la evaluación de aptitud ambiental para la instalación del acueducto.....	82
Tabla 37. Categorías de aptitud ambiental para la instalación de un acueducto.....	82
Tabla 38. Criterios de aptitud ambiental según la geomorfología	83
Tabla 39. Criterios de aptitud ambiental según las características geotécnicas de los suelos	84
Tabla 40. Criterios de aptitud ambiental según la profundidad de la primera napa.....	85
Tabla 41. Criterios de aptitud ambiental según la vegetación.....	85
Tabla 42. Criterios de aptitud ambiental según las áreas naturales protegidas	86
Tabla 43. Criterios de aptitud ambiental según el uso del suelo.....	87
Tabla 44. Criterios de aptitud ambiental según la accesibilidad	87
Tabla 45. Criterios de aptitud ambiental según la distancia al borde del área urbana	88
Tabla 46. Valores de los VIP utilizados para ponderar las variables ambientales en la determinación de la aptitud ambiental integral.....	89
Tabla 47. Distribución de la aptitud ambiental según la geomorfología.....	90
Tabla 48. Distribución de la aptitud ambiental según las características geotécnicas de los suelos ...	90
Tabla 49. Distribución de la aptitud ambiental según la profundidad de la primera napa	91
Tabla 50. Distribución de la aptitud ambiental según la vegetación	91
Tabla 51. Distribución de la aptitud ambiental según las áreas naturales protegidas	91
Tabla 52. Distribución de la aptitud ambiental según el uso del suelo	92
Tabla 53. Distribución de la aptitud ambiental según la accesibilidad	92
Tabla 54. Distribución de la aptitud ambiental según la distancia al borde del área urbana	92
Tabla 55. Distribución de la aptitud ambiental global.....	93
Tabla 56. Aptitud ambiental global para las trazas alternativas	94
Tabla 57. Impactos explicados en la Sección 3 (Tabla 9) que pueden ser evaluados y monitoreados mediante métodos específicos para impactos generados por la captación de agua de la fuente.....	105
Tabla 58. Impactos explicados en la Sección 3 (Tabla 7) que pueden ser evaluados y monitoreados mediante métodos específicos para impactos bióticos	119
Tabla 59. Ejemplos de valores y variables esenciales para un bosque y cálculo del HQI (Fuente: adaptado del US Army Corps of Engineers 1980).....	122

Tabla 60. Ejemplo de cálculo del HUV y de los impactos que causa un proyecto sobre un hábitat dado (Fuente: adaptado de US Army Corps of Engineers 1980)	123
Tabla 61. Impactos explicados en la Sección 3 (Tabla 9) que pueden ser evaluados mediante métodos específicos para impactos visuales.....	126
Tabla 62. Criterios para clasificar las medidas del PMA	129
Tabla 63. Características de las siete categorías de medidas de protección ambiental.....	129
Tabla 64. Criterios para valorar las medidas del PMA.....	130
Tabla 65. Impactos ambientales potenciales generados por la construcción de represas	187
Tabla 66. Impactos ambientales potenciales generados por la operación de represas.....	188
Tabla 67. Acciones y medidas aplicables para prevenir, minimizar y compensar los impactos generados por la creación de una represa	190

FIGURAS

Figura 1. Flujograma que muestra las distintas etapas en la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable y los estudios y procedimientos ambientales asociados.....	5
Figura 2. Efecto benéfico de un proyecto de saneamiento sobre un parámetro ambiental determinado. La flecha indica el momento en que se inicia la etapa de operación. (Fuente: adaptado de Wathern 1988).....	7
Figura 3. Ejemplo hipotético de disminución en la calidad ambiental como consecuencia de una acción antrópica que genera efectos adversos. La flecha indica el comienzo de dicha acción.	8
Figura 4. Variación de la calidad ambiental en función de las pérdidas de agua en las cuencas como consecuencia de las actividades antrópicas (Fuente: Batelle 1972).....	14
Figura 5. ICA según el oxígeno disuelto en un cuerpo de agua hipotético (Fuente: Batelle 1972).....	58
Figura 6. ICA según la demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en un curso hipotético (Fuente: Batelle 1972).....	58
Figura 7. ICA según la concentración de coliformes fecales en un curso hipotético (Fuente: Batelle 1972).....	59
Figura 8. ICA según la pérdida de vegetación natural terrestre. (Fuente: Fernández Vitora 1997).....	63
Figura 9. Flujograma que ilustra los pasos a seguir en la obtención de un mapa de sensibilidad ambiental (Fuente: adaptado de Bastedo <i>et al.</i> 1984).....	80
Figura 10. HQL en función de los sólidos disueltos en una corriente de agua (Fuente: US Army Corps of Engineers 1980).....	122
Figura 11. Ejemplo del cálculo de las pérdidas de HUV sobre un bosque (Fuente: Canter 1998)	123
Figura 12. Esquema del sistema considerado en el ejemplo hipotético de monitoreo ambiental.....	134
Figura 13. Consecuencias ambientales de la disminución de la capacidad de autodepuración en el río principal provocada por la captación de agua en un tributario	135
Figura 14. Serie temporal de mediciones del Índice de Calidad del Agua (ICA) en los Sitios 1 y 2 obtenidas antes y después del inicio de la captación en el arroyo. La línea punteada indica el inicio de la etapa operativa	136
Figura 15. Análisis de la coherencia en los patrones espaciales y temporales de variación (Correlación entre los valores obtenidos para el ICA en los Sitios 1 y 2).....	137
Figura 16. Diferencia en el Índice de Calidad del Agua entre los Sitios 1 y 2 antes y después de la implementación del proyecto (Diseño BACIPS)	138
Figura 17. Índice de calidad del agua en los sitios 1 y 2 antes y después de la implementación del proyecto (Diseño BACI)	139
Figura 18. Resultado del análisis de autocorrelación (correlación entre las Diferencias en la medición a tiempo i y la medición a tiempo $i+1$)	139
Figura 19. Clasificación de amenazas en función de su origen y afinidad funcional (Fuente: OPS 1993)	177
Figura 20. Flujograma típico para el análisis de vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua potable (Fuente: OPS 1993).....	182
Figura 21. Flujograma para la identificación de componentes críticos en evaluaciones de amenazas	184
Figura 22. Inventario de fuentes alternativas.....	186
Figura 23. Formulario de prioridades de abastecimiento.....	186

MAPAS

Mapa 1. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la geomorfología.....	95
Mapa 2. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según las características geotécnicas de los suelos.....	96
Mapa 3. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la profundidad de la primera napa.....	97
Mapa 4. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la vegetación.....	98
Mapa 5. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según las áreas naturales protegidas.....	99
Mapa 6. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según el uso del suelo.....	100
Mapa 7. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la accesibilidad.....	101
Mapa 8. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la distancia al borde del área urbana.....	102
Mapa 9. Mapa de aptitud ambiental integral para la instalación de un acueducto. ubicación de trazas alternativas.....	103

LISTA DE MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y MONITOREO AMBIENTAL

Medida 1. Realizar una adecuada planificación del sistema de agua potable	142
Medida 2. Instalación de grupos electrógenos	143
Medida 3. Efectuar el cierre de los pozos domiciliarios existentes	143
Medida 4. Seguimiento y participación en las políticas de planificación y desarrollo urbano	143
Medida 5. Realizar inspecciones durante la obra y operaciones	144
Medida 6. Establecer un programa de información con los usuarios	144
Medida 7. Implementación de las disposiciones legales vigentes en materia de higiene y seguridad en el trabajo	145
Medida 8. Mantener un sistema de control sobre los monitoreos de calidad	145
Medida 9. Elaborar “Planes de Contingencias” y sistemas de alarma específicos	146
Medida 10. Realizar cursos de capacitación antes de la construcción	146
Medida 11. Señalización de las instalaciones y zonas de obra durante la construcción	147
Medida 12. Participación pública en la toma de decisiones	147
Medida 13. Implementar campañas de educación ambiental	148
Medida 14. Estimulación de líneas de investigación aplicada	149
Medida 15. Restauración de la vegetación	150
Medida 16. Restauración de la fauna	150
Medida 17. Restauración de las funciones ecológicas	151
Medida 18. Monitorear y reducir el agua no contabilizada	152
Medida 19. Adecuar horarios y área de influencia de las obras para reducir molestias e impactos estéticos	153
Medida 20. Rescatar hallazgos arqueológicos o paleontológicos	153
Medida 21. Coordinar y planificar el uso de la cuenca y/o de la fuente de agua	154
Medida 22. Realización de estudios hidrogeológicos previos	155
Medida 23. Balance hídrico del sistema	155
Medida 24. Elaboración de modelos del sistema en explotación	156
Medida 25. Elaboración de mapas de vulnerabilidad y de riesgo	156
Medida 26. Métodos de prevención y control de la intrusión marina	157
Medida 27. Monitoreo de la interfaz agua dulce – agua salada	157
Medida 28. Monitoreo de los niveles freáticos y piezométricos y construcción de las respectivas redes de flujo	158
Medida 29. Monitoreo de la calidad del agua subterránea	159
Medida 30. Establecimiento de una red de aforos y monitoreo de los caudales	160
Medida 31. Control de la calidad de las aguas de las fuentes superficiales	160
Medida 32. Diseño adecuado de cada perforación individual e inspección durante la construcción	161
Medida 33. Estimación de las áreas de influencia del bombeo y el descenso de nivel de agua provocado	161
Medida 34. Regulación del caudal de extracción y favorecimiento de la recarga	162
Medida 35. Limitar el acceso del público en el área de captación de agua	162
Medida 36. Limitar el acceso de ganado en el área de captación de agua	163
Medida 37. Monitoreo de la calidad y caudal del agua captada	163
Medida 38. Diseño adecuado de la batería de pozos	164
Medida 39. Generación y preservación de archivos y registros de pozos	165
Medida 40. Control de la sedimentación en la zona de captación	166
Medida 41. Monitoreo de la subsidencia	166
Medida 42. Control de la erosión en la zona de captación	166
Medida 43. Limpieza de rejas y disposición de sólidos en el predio de disposición final de residuos sólidos urbanos	167
Medida 44. Realizar cursos de capacitación ambiental antes y durante la operación de la planta de tratamiento	167

Medida 45. Impedir el acceso de personas no autorizadas al predio de la planta de tratamiento	168
Medida 46. Controlar el mantenimiento operativo de la planta	168
Medida 47. Señalización del lugar durante la operación de la planta de tratamiento..	169
Medida 48. Tratamiento, control de calidad y disposición final de lodos removidos..	169
Medida 49. Limitar el acceso de fauna oportunista a la planta de tratamiento	170
Medida 50. Indemnización de la población a ser reasentada	170
Medida 51. Indemnización a los propietarios cuyos terrenos serán expropiados	170
Medida 52. Fomentar una amplia conexión a la red de agua potable	171
Medida 53. Mantenimiento preventivo y monitoreo del estado de la red	172
Medida 54. Monitoreo de la calidad y caudal del agua distribuida	173
Medida 55. Asegurar una correcta medición del consumo asociada a una estructura tarifaria que penalice el derroche	174

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ¿POR QUÉ EVALUAR IMPACTOS AMBIENTALES?

Las obras de abastecimiento de agua potable tienen en general un impacto global positivo ya que básicamente sus objetivos son introducir mejoras en el ambiente humano que aumenten su calidad. Por ello constituyen una parte esencial del desarrollo humano, en particular de la población urbana, dado que el agua potable es indispensable para la vida de las personas.

Actualmente, y debido a la creciente disminución de la oferta hídrica, el desarrollo humano debe ocurrir en el marco de una estrategia de conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Estos conceptos, interdependientes por definición, pueden resumirse bajo el paradigma del desarrollo sustentable o ambientalmente responsable. Ello implica el uso apropiado del recurso hídrico dentro de los límites naturales que mantienen su disponibilidad, calidad y equilibrio de modo tal de satisfacer las necesidades de la población humana actual sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras.

Dado que diversos procesos ambientales y ecológicos dependen e interactúan con el recurso hídrico, la alteración del mismo en cantidad y/o calidad puede afectar también la sustentabilidad de otros recursos de interés antrópico. Por lo tanto, el alcance del desarrollo sustentable es extensivo a las interacciones claves o más relevantes entre el medio (global) y el recurso hídrico.

Las obras y tareas de captación, conducción, tratamiento y suministro de agua potable son parte de las tareas de saneamiento proyectadas para mejorar la calidad de vida y la salud pública, ya que reducen considerablemente los riesgos de transmisión de enfermedades por utilización de fuentes no tratadas, ya sea porque están contaminadas o son susceptibles de contaminación. Representan, por lo tanto, acciones positivas desde el punto de vista del ambiente humano.

Sin embargo, soluciones ambientalmente no adecuadas para las descargas cloacales generadas por el consumo de agua, diseños inadecuados, escasa planificación, diagnósticos incorrectos, o la falta de mantenimiento y control del sistema pueden generar impactos no deseados, en algunos casos severos, tanto sobre los ambientes naturales como sobre la calidad de vida humana. De la misma manera, pueden afectar al propio recurso produciendo contaminación y alteración severa, como por ejemplo su agotamiento.

Los proyectos de saneamiento pueden asignarse en categorías de menor o mayor impacto ambiental potencial (**Tabla 1**) según las características del proyecto y/o del ambiente.

Cabe destacar que el ENOHSA (ex-CoFAPyS 1994), sobre la base de lo explicitado por el BID (1991) encuadra a los proyectos de abastecimiento de agua potable y en general a los proyectos de saneamiento dentro de la Categoría 2, es decir, proyectos cuya operación puede generar impactos ambientales de carácter negativo o intensidad moderada para los que existen tecnologías alternativas o soluciones aceptables desde el

punto de vista ambiental. Esto se debe a que, a pesar de que su propósito es mejorar la calidad ambiental, el diseño, la elección de la tecnología y el emplazamiento de las obras pueden tener consecuencias críticas para el medio.

Grupo 1:	Proyectos con impactos que son poco significativos para el ambiente, o que por su importancia y magnitud pueden evitarse o minimizarse mediante la aplicación de criterios técnicos adecuados (implementación de un Plan de Protección Ambiental simple).
Grupo 2:	Proyectos con impactos ambientales potenciales de intensidad media o moderada, para los que existen tecnologías alternativas o soluciones aceptables desde el punto de vista ambiental. Estos proyectos requieren necesariamente de la implementación de un Plan de Manejo Ambiental.
Grupo 3:	Proyectos con impactos potenciales de intensidad alta, para los que no existen tecnologías alternativas. Además de estar condicionados a un Plan de Manejo Ambiental, requieren una rigurosa fiscalización del cumplimiento de las acciones propuestas por dichos planes.

Tabla 1. Categorías ambientales en que puede clasificarse un proyecto según los lineamientos del ENOHSA (CoFAPyS 1994)

En la **Tabla 3** se indican algunos ejemplos de proyectos para las tres categorías únicamente a los fines de orientar la clasificación, y sin intención de generalizar sobre los tipos de proyectos y los potenciales impactos ambientales que puedan generar, ya que cualquiera de los proyectos podría cambiar de categoría según la escala y magnitud de la actividad propuesta, el contexto ambiental en el que se desarrolle, y/o la necesidad de profundización de los estudios realizados.

Grupo 1	
1.	Sistemas de agua potable en localidades pequeñas que tengan solución adecuada para la disposición de aguas residuales.
2.	Conexiones domiciliarias de agua potable.
3.	Aductoras y sub-aductoras de agua de pequeño diámetro y extensión.
4.	Estaciones de bombeo.
5.	Tanques de almacenamiento de agua.
6.	Sustitución de equipos obsoletos.
7.	Ampliación y/o rehabilitación de planta potabilizadora, sin incremento del volumen de agua captado.
Grupo 2	
1.	Proyectos de manejo de desechos sólidos generados en el tratamiento.
2.	Sistemas de agua potable sin solución, o con solución parcial, para la disposición de aguas residuales.
Grupo 3	
1.	Sistemas de abastecimiento de agua de magnitud importante, que pueden incluir por ejemplo la construcción de un embalse, grandes sistemas de conducción de agua, o el trasvasamiento de cuencas.
2.	Proyectos de manejo de desechos tóxicos.
3.	Proyectos que pueden generar impactos en áreas de interés ambiental, tales como áreas naturales protegidas (parques nacionales, reservas), áreas de protección de fuentes de abastecimiento, de interés científico, histórico, turístico, áreas de reservas indígenas, sitios y monumentos geológicos, paleontológicos, espeleológicos, o de manifestaciones culturales o etnológicas de la comunidad.

Tabla 2. Ejemplos para las tres categorías de clasificación de proyectos de abastecimiento de agua potable

Los impactos relacionados con la disposición de líquidos cloacales existentes y/o derivados de las nuevas obras proyectadas constituyen uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta. Desde el punto de vista ambiental, un Proyecto de abastecimiento de agua potable que prevea el mejoramiento y/o la ampliación de su capacidad, sólo tiene factibilidad cuando está resuelto de manera adecuada el manejo de las aguas cloacales, en particular su tratamiento y disposición final.

Es necesario verificar si los sistemas de agua potable incluyen una solución adecuada para el tratamiento y/o disposición de las aguas residuales generadas (ej.: pozos absorbentes, lechos nitrificantes con estratos adecuados, redes con tratamiento).

Por otro lado, la utilización múltiple de la misma fuente de agua constituye un factor muy importante a tener en cuenta durante la planificación de un proyecto, en especial si se trata de una fuente superficial. La captación de grandes cantidades de agua o las obras para garantizar el suministro de la misma pueden afectar o verse afectadas por otros usos y actividades (tales como la irrigación, navegación, vertederos de residuos urbanos e industriales, recreación, y preservación de la flora y fauna) llegando, incluso, a hacerse totalmente incompatibles. Para evitar estos conflictos de uso y maximizar la compatibilidad de usos del recurso hídrico, es imprescindible la existencia de una política coordinada y la planificación integrada de los recursos hídricos de manera de definir no sólo los usos del agua, sino también los de otras actividades que impliquen una degradación o amenaza para el medio. En este sentido, los proyectistas y especialistas ambientales deben consultar a los organismos pertinentes (Autoridades de Cuenca, Municipios, Gobiernos Provinciales).

En este contexto, la Evaluación o Estudio de Impactos Ambientales (EIA) constituye un proceso central de decisión en un marco de integración ambiente-desarrollo, ya que es una herramienta fundamental y ampliamente usada para analizar los efectos ambiental, ecológica y socialmente adversos de los proyectos de desarrollo.

Sus diferentes funciones incluyen ser un instrumento para:

- 1). La toma de decisiones.
- 2). La concepción y planificación de proyectos.
- 3). El análisis de viabilidad ambiental de los proyectos.
- 4). La actualización del conocimiento de las condiciones ambientales.
- 5). La participación social, incluyendo inquietudes científico-técnicas.
- 6). La implementación de planes de manejo ambiental.

Por otro lado, la EIA se ha convertido en un mecanismo clave para el desarrollo sustentable ya que garantiza un compromiso entre las actividades económicas y humanas en general, con las limitaciones intrínsecas y los usos potenciales futuros de los recursos naturales.

De esta manera, uno de los pasos fundamentales en la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable (o de extensiones y mejoras en uno existente) es la identificación, cuantificación y valoración de los impactos ambientales que genera, en especial los no deseables, innecesarios o evitables. Esto permite tanto optar por

tecnologías que minimicen los impactos sobre el medio ambiente, como implementar medidas tendientes a evitarlos, disminuirlos, o prevenirlos.

En el presente Capítulo se desarrollan los aspectos teóricos necesarios para realizar Evaluaciones de Impactos Ambientales, y se provee un conjunto de recomendaciones útiles aplicables a la protección ambiental en las distintas etapas de la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable, con el objetivo de complementar la normativa y facilitar su aplicación.

1.2. ETAPAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE. IMPLICANCIAS AMBIENTALES

En la implementación de acciones tendientes a mejorar la infraestructura sanitaria de la población se reconocen cinco etapas: (1) Estudios Preliminares, (2) Estudio y Selección de Alternativas o Anteproyecto, (3) Proyecto, (4) Construcción y (5) Operación. En algunos casos, sin embargo, las primeras dos etapas no se diferencian, y constituyen una única etapa bajo la denominación de Anteproyecto.

En el Flujograma de la **Figura 1** se observan las diferentes etapas mencionadas para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable. Como puede apreciarse, durante la planificación, el diseño, y la concepción misma del sistema (que se completa en las tres primeras etapas) los estudios ambientales constituyen una parte fundamental del proceso.

Estos estudios permiten seleccionar diferentes alternativas técnicas y metodológicas de acuerdo a sus ventajas y desventajas, y estudiar los aspectos ambientales comprometidos, como una garantía para la prevención o minimización de los potenciales impactos ambientales de este tipo de proyecto. La elección inapropiada, por ejemplo, de la fuente de agua que abastece un sistema incrementa en gran medida, e innecesariamente, los efectos adversos durante la implementación del mismo. En algunos casos, en los que no hay fuentes alternativas o la misma ya fue elegida (por ejemplo en ampliaciones de un sistema existente), la correcta selección de la ubicación de la toma de agua puede disminuir los impactos no deseados.

Asociados a las diversas etapas del proceso de Planificación existen dos tipos de estudios ambientales: (a) el Estudio Ambiental Previo (EAP), y (b) la Evaluación de Impactos Ambientales propiamente dicha (EIA), que se describen con mayor detalle en la Sección 1.4.2. En el primer caso se identifican, valorizan y cuantifican desde una perspectiva ambiental las alternativas técnicamente viables propuestas en la etapa de Estudios Preliminares, permitiendo analizar las ventajas y desventajas de cada una de ellas. Este tipo de estudio no requiere evaluaciones detalladas sino expeditivas pero contemplando todos los factores ambientales y sociales sensibles del área que se verá afectada por la implementación del sistema.

Entre los ejemplos de tales áreas de interés pueden mencionarse:

- Áreas de protección de fuentes de abastecimiento.
- Áreas de protección de la fauna y flora.
- Áreas de interés científico.

- Áreas de interés histórico o patrimonial (p.e. sitios arqueológicos).
- Reservas indígenas.
- Áreas de interés turístico.
- Áreas previstas para la urbanización.
- Áreas previstas para la producción agropecuaria.
- Áreas previstas para actividades industriales.

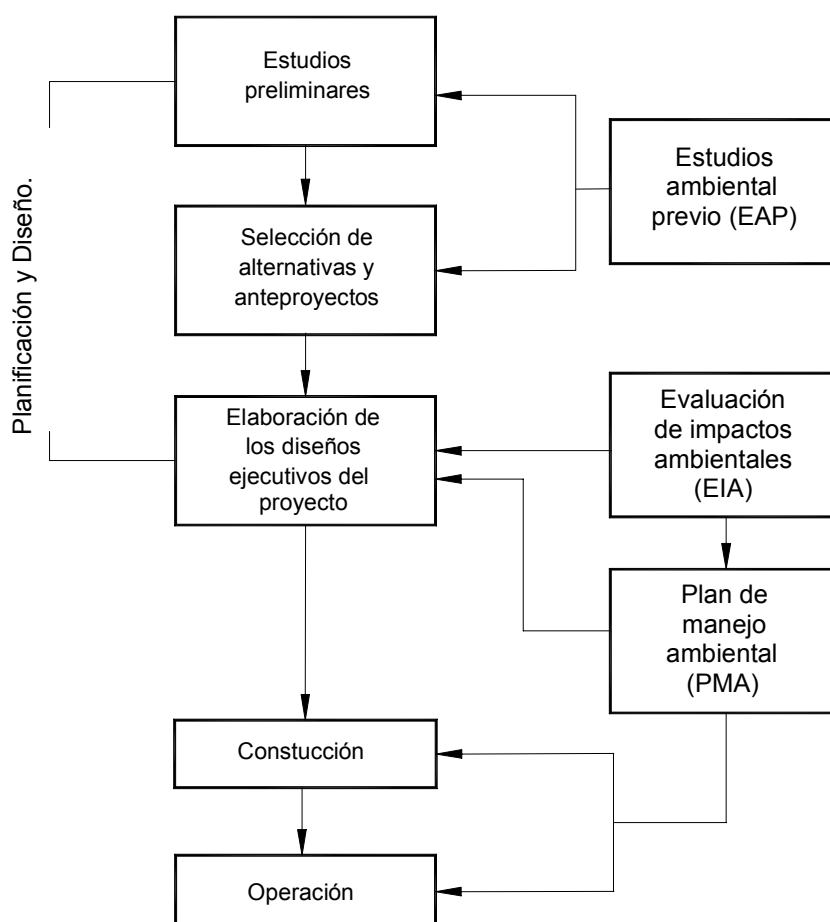


Figura 1. Flujograma que muestra las distintas etapas en la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable y los estudios y procedimientos ambientales asociados

Para dichas áreas sensibles o de interés se debe enfatizar el análisis de los posibles problemas que puedan presentar y de la legislación y normas correspondientes a estas áreas y la compatibilidad del proyecto con las mismas.

En una segunda fase de la EIA se predicen los potenciales impactos que genera el proyecto y se elabora un Plan de Manejo Ambiental (PMA), que consiste en una serie de Medidas tendientes a corregir y evitar dichos impactos. Es fundamental que exista en todas las tareas una interacción permanente entre el equipo técnico ambiental y los responsables del diseño de ingeniería y las demás evaluaciones.

De esta forma, durante la planificación se formulan una serie de procedimientos ambientales cuyos objetivos generales son:

- 1). Recuperar la calidad ambiental alterada en el área afectada por el emprendimiento;
- 2). Salvaguardar los sitios ambientalmente sensibles;
- 3). Controlar que las actividades antrópicas de los responsables de la construcción y operación del sistema se desarrollen de manera ambientalmente responsable; y
- 4). Validar los impactos ambientales pronosticados.

Cabe destacar que el PMA se elabora durante la EIA, y que las medidas que lo componen se aplican tanto durante la construcción como la operación del sistema. Al implementar las medidas apropiadas en estas etapas se puede atenuar, o incluso eliminar, los efectos negativos esperados.

1.3. CONCEPTOS Y TIPOLOGÍA DE IMPACTOS AMBIENTALES

Se considera impacto ambiental cualquier alteración significativa de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del ambiente natural como resultado de las actividades humanas, las cuales, a su vez, pueden tener un impacto social al afectar, directa o indirectamente, la salud, la seguridad o el bienestar de la población, las actividades sociales, culturales y económicas, las condiciones estéticas y sanitarias del medio y la calidad de los recursos naturales. El impacto social también incluye efectos negativos sobre la calidad de vida no vinculados directamente con los impactos sobre el ambiente natural, tales como destrucción del patrimonio arqueológico, alteración de la calidad paisajística, o modificación del valor inmobiliario.

En otros términos, el impacto de una acción antrópica sobre el ambiente es la diferencia entre la situación del medio modificado como consecuencia de dicha acción, y la situación del mismo tal como habría evolucionado en ausencia de ésta. Bajo esta definición, los impactos ambientales presentan en general una connotación negativa, lo cual significa que el ambiente evoluciona o se manifiesta en mejores condiciones sin intervención antrópica. Como prácticamente todo el planeta se encuentra en la actualidad bajo algún tipo de efecto (negativo) por la actividad humana, es necesario determinar las condiciones ambientales sobre las cuales actuará el proyecto lo que permite, asimismo, evaluar los “pasivos ambientales” existentes o impactos provocados por actividades anteriores al inicio del proyecto de interés tales como contaminación de acuíferos.

En este contexto, no deben confundirse los efectos benéficos o positivos de una obra con los impactos ambientales o efectos negativos (no deseados) que la misma puede

generar. Las obras de saneamiento en general tienen un impacto global positivo ya que básicamente sus objetivos son introducir mejoras en el medio que aumenten la calidad ambiental.

En la **Figura 2** se observa el efecto benéfico de una obra de saneamiento sobre un parámetro ambiental determinado que, en el caso de los sistemas de abastecimiento de agua potable, podría ser la calidad de agua consumida por la población. El escenario SIN proyecto podría ser la utilización de una fuente de agua no tratada sujeta a una contaminación creciente. Al implementar el proyecto (por ejemplo, planta potabilizadora), la situación ambiental mejora. Debe destacarse que el efecto positivo es aún mayor cuando el sistema implementa el PMA que, siguiendo con el ejemplo anterior, incluiría medidas tendientes a evitar la contaminación de la fuente de agua y del agua de distribución, así como a monitorear en ambos casos la calidad de la misma en relación al tratamiento de potabilización.

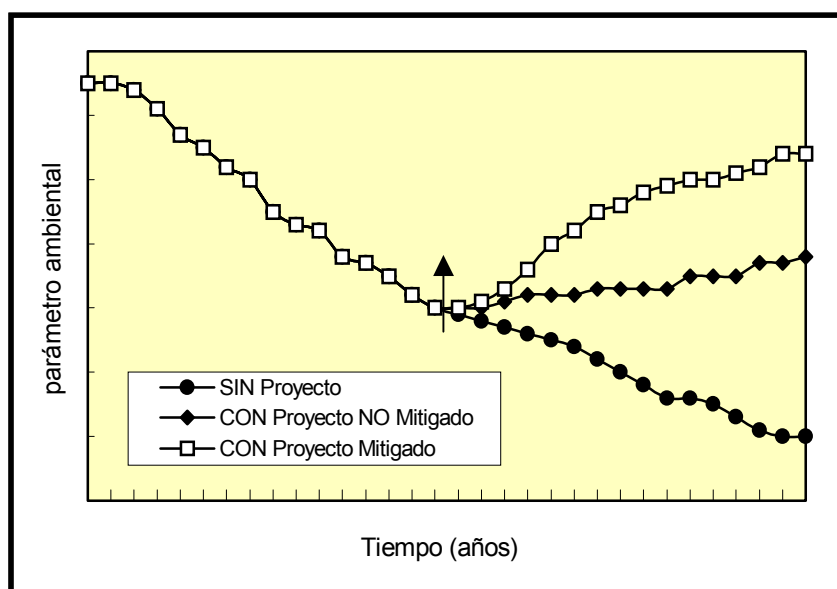


Figura 2. Efecto benéfico de un proyecto de saneamiento sobre un parámetro ambiental determinado. La flecha indica el momento en que se inicia la etapa de operación. (Fuente: adaptado de Wathern 1988)

En la **Figura 3**, en cambio, se muestra un ejemplo hipotético de una acción antrópica que presenta un efecto negativo al disminuir la calidad ambiental. Tal acción podría ser, por ejemplo, la deforestación de un área de bosque para la construcción de una planta de tratamiento de aguas. Cabe resaltar que los impactos ambientales pueden atenuarse, o reducirse al mínimo tolerable (es decir, impacto inevitable), también mediante la aplicación de medidas de protección y monitoreo ambiental previstos en el PMA.

De esta manera, las obras de un sistema de abastecimiento de agua potable representan globalmente un efecto positivo para la población humana; sin embargo las modalidades de construcción o de solución de los impactos generados durante la operación (especialmente evacuación ambientalmente inadecuada de aguas residuales) pueden

provocar efectos negativos. Este tipo de efectos son el objeto de estudio de las EIA y se desarrollan en este Capítulo.

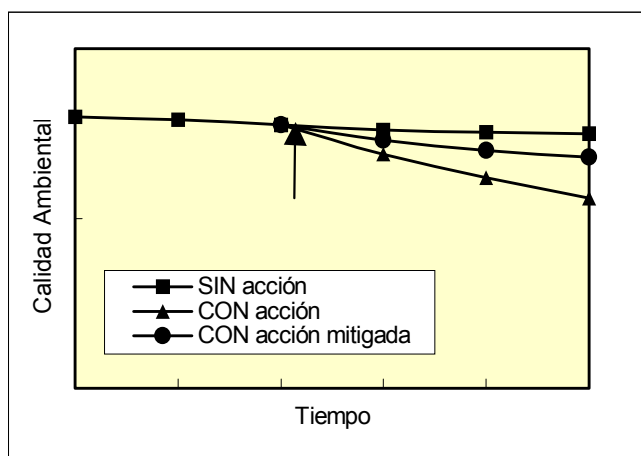


Figura 3. Ejemplo hipotético de disminución en la calidad ambiental como consecuencia de una acción antrópica que genera efectos adversos. La flecha indica el comienzo de dicha acción.

Los impactos ambientales poseen dos atributos principales: la magnitud y la importancia. La magnitud es la intensidad de un impacto en términos absolutos, y se lo define como una medida (cuali o cuantitativa) de la alteración que produce en un factor o parámetro ambiental. Para su cálculo se considera su intensidad, periodicidad y amplitud temporal. La importancia es la ponderación del grado de significación del impacto en relación al factor ambiental afectado y a los otros impactos.

En la **Tabla 3** se resumen las características de los impactos ambientales utilizadas con mayor frecuencia en evaluaciones expeditivas. Esta clasificación no es excluyente, es decir que un impacto puede pertenecer a la vez a dos o más tipos.

Variable	Posibles estados
Valor del Impacto	Negativo, Positivo, Neutro
Relación Causal	Directa, Indirecta
Capacidad de Recuperación	Reversible, Irreversible
Magnitud Temporal	Corto, Medio, Largo plazo
Persistencia	Temporario, Permanente
Periodicidad	Continuo, Discontinuo
Desencadenamiento	Inmediato, Diferenciado, Escalonado
Magnitud Espacial	Local, Regional, Estratégico
Probabilidad de Ocurrencia	Baja, Media, Alta
Sinergia	Si, No
Acumulación	Linear, Cuadrática, Exponencial

Tabla 3. Características de los impactos ambientales utilizadas con mayor frecuencia en procesos de evaluaciones expeditivas

1.4. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES (EIA)

1.4.1. Metas y Objetivos

Una EIA es un conjunto de actividades, investigaciones, y estudios técnicos realizados con la finalidad de predecir y dar a conocer las principales consecuencias ambientales de un proyecto, particularmente los efectos negativos no deseados o impactos innecesarios y evitables de los proyectos en desarrollo. Internacionalmente se han reconocido tres metas claras para las EIA (ISEEA 1996):

- Su integración en las etapas iniciales del desarrollo de políticas, programas y proyectos.
- La necesidad de integrar las evaluaciones de los medios físicos, bióticos y socio-económicos de dichas políticas, programas y proyectos.
- Su utilidad para favorecer el desarrollo sustentable y no meramente como una herramienta para minimizar la degradación ambiental.

De esta manera, la EIA debe dejar de ser un ejercicio separado y aislado para integrarse dentro del proceso de planificación de los proyectos. Es imprescindible el desarrollo de aproximaciones para su integración a la valoración económica del ambiente, incluyendo los análisis costo-beneficio y el enfoque de bienes y servicios del ecosistema (Wyant *et al.* 1995, Costanza *et al.* 1997).

Los objetivos de una EIA son:

- Atender a las exigencias legales de protección ambiental.
- Dar respuestas científico-técnicas a las inquietudes que se plantean en la comunidad.
- Contribuir al conocimiento físico, biológico y antrópico del área afectada.
- Contribuir en la toma de decisión sobre la implementación de un proyecto.
- Interpretar las implicancias ambientales de las acciones y obras del proyecto.
- Delimitar el área de influencia de los impactos ambientales potenciales.
- Diagnosticar ambientalmente dicha área.
- Identificar los probables impactos ambientales.
- Cuantificar y valorar dichos impactos.
- Formular, en función de los efectos adversos hallados, medidas destinadas a prevenirlos, corregirlos, mitigarlos, y monitorearlos.

1.4.2. Tipos de Evaluación de Impactos Ambientales

En la literatura internacional (Sonntag 1985) se distinguen dos tipos comunes de EIA: los estudios “*scoping*” (de tipo amplio) y las EIA detalladas y específicas. La EPA (*Environmental Protection Agency* o Agencia Nacional de Protección Ambiental de los Estados Unidos) ha definido “*scoping*” como “un proceso temprano y abierto para determinar el alcance de los inconvenientes que deben ser enfrentados y para identificar los problemas más significativos que se relacionan a una acción propuesta”.

Kennedy y Ross (1992), por su parte, recomiendan incluir en el desarrollo de un proyecto una fase de evaluación para eliminar los impactos no significativos y concentrarse en los importantes (evaluaciones ambientales focalizadas o “*impact scoping*”) y una fase de planificación del manejo de impactos que incluye la definición de medidas de mitigación y monitoreo.

En síntesis, un estudio de tipo amplio, o Estudio Ambiental Previo (EAP), podría definirse como un caso especial de EIA que, como se mencionó en la Sección 1.2, se lleva a cabo en las etapas de Estudios Preliminares y de Anteproyecto. El resultado principal en este caso es el reconocimiento y selección de la alternativa técnica que minimice los impactos ambientales de las acciones propuestas.

Las EIA detalladas y específicas, en cambio, se realizan en la etapa de Proyecto con el objetivo fundamental de elaborar un Plan de Manejo Ambiental (PMA), en base a una mayor profundización y especificación de las estimaciones de impactos que generará la alternativa seleccionada.

El propósito central de un PMA es la formulación precisa y detallada de medidas de protección y monitoreo ambiental específicas a adoptar durante las etapas de construcción y operación. Las medidas de protección son acciones preventivas o correctivas de los impactos ambientales evaluados en la EIA, mientras que las de monitoreo y control miden las consecuencias de las obras y tareas del proyecto.

2. CONTENIDOS MÍNIMOS DE UNA EIA EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Para la realización de las EIA (tanto detalladas como de tipo amplio) hay pautas de carácter general, características y patrones en cuanto a su forma y contenido, así como una metodología apropiada para cada tipo de estudio ambiental y para la presentación e interpretación de resultados y conclusiones.

Un estudio ambiental de un sistema de abastecimiento de agua potable debe proporcionar una visión clara y lo más objetiva posible de los efectos que puede tener el mismo sobre el ambiente. Se resaltarán aquí los componentes indispensables que debe incluir una EIA, y que se utilizan para analizar su calidad y pertinencia:

- Resumen ejecutivo,
- Descripción analítica del emprendimiento,
- Identificación e interpretación de la legislación pertinente,
- Definición del área de influencia del proyecto y especificación de los criterios utilizados,
- Descripción de base de los medios físico, biológico y antrópico donde se implantará el proyecto y su área de influencia, identificando en particular las áreas de interés ambiental tales como las indicadas en la Sección 1.2.
- Identificación y evaluación de los impactos ambientales de la obra sobre el medio,
- Formulación de medidas de protección ambiental, que incluyen acciones de mitigación de impactos, de compensación, y de monitoreo.

En la **Tabla 4** se muestra un listado con las secciones que conforman un EIA Previo y una EIA detallada.

Estudio ambiental previo	Evaluación de impactos ambientales
Resumen Ejecutivo Introducción Delimitación del área de Influencia Consideraciones legales	
Descripción Analítica de las Alternativas Técnicas Diagnóstico Ambiental comparado según Alternativas Análisis de Impactos Ambientales de las Alternativas	Descripción Analítica del Proyecto Diagnóstico Ambiental del Área de Influencia Análisis de Impactos Ambientales
Conclusiones	
Análisis y Selección Ambiental de las Alternativas	Plan de Protección y Monitoreo Ambiental
Bibliografía	

Tabla 4. Secciones que conforman un EAP y una EIA

El Resumen Ejecutivo sintetiza de manera clara los resultados técnicos más destacados del estudio y está dirigido a un público general. En el caso de los EAP, se enfatizan las ventajas y desventajas ambientales de cada alternativa probable y la fundamentación de los criterios de selección. Para la EIA detallada, se resumen los impactos ambientales detectados destacando los más significativos, se describen las zonas ambientalmente más sensibles a las obras y tareas proyectadas, y se sintetizan las medidas del Plan de Protección y Monitoreo Ambiental.

En la Introducción se establecen los objetivos de la EIA, los alcances de la misma y los antecedentes pertinentes al área de estudio.

Las Consideraciones Legales incluyen una interpretación explícita de las normas vigentes aplicables en la jurisdicción del proyecto (nacionales, provinciales, municipales). Asimismo, se utilizarán en la EIA incorporándose estándares o límites de calidad ambiental.

Se tramitarán todas las autorizaciones que a nivel nacional, provincial o municipal se soliciten en éstas. Si existiera Autoridad de cuenca, se deberá comunicar a éste el Proyecto en estudio y recabar sus objeciones.

La Descripción Analítica del Proyecto (o de las Alternativas) incluye una caracterización que contempla la descripción general de las unidades del sistema y, de forma resumida, de la operación del mismo (y la descripción de los sistemas existentes). Pero, fundamentalmente, se identifican de manera explícita las obras y tareas potencialmente generadoras de impacto, cuyas consecuencias operativas deben cuantificarse desde un punto de vista ambiental. En la **Tabla 5** se ejemplifican las obras y tareas necesarias y representativas para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable, así como variables e indicadores que se utilizan para cuantificarlas.

Obras y tareas	Variables/Indicadores
Alteración del flujo de un cuerpo de agua	Caudal, materiales
Instalación del obrador	Distancia a áreas sensibles
Emplazamiento edificio (planta de tratamiento)	Materiales, volúmenes, superficie
Perforaciones de pozos	Cantidad, profundidad, caudal de extracción, diseño de la batería de pozos, localización
Desmonte	Cantidad de biomasa, especies a eliminar
Excavaciones	Volumen a remover, tiempo de exposición, voladuras
Apertura de caminos	Camiones a movilizar
Movimiento de camiones y equipamiento	Cantidad, frecuencia, horarios, rutas
Generación de ruidos molestos / Obrador	Intensidad, horarios
Expropiación	Costos, tiempo en trámites
Relocalización de infraestructura y servicios	Tipo, cantidad
Relocalización de población	Cantidad de familias

Tabla 5. Ejemplos de variables e indicadores utilizados para cuantificar las obras y tareas generadoras de impactos ambientales de un proyecto de abastecimiento de agua potable

Los conceptos de área de influencia, su delimitación, el diagnóstico de base, el análisis de impactos ambientales, y el PMA se describen en secciones *ad-hoc* debido a su mayor complejidad y la importancia que tienen dentro de las EIA.

2.1. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

Se entiende por área de influencia la superficie geográfica que es afectada directa e indirectamente por las obras y tareas propuestas. La delimitación precisa y certera de la misma es fundamental para las etapas siguientes en el proceso de evaluación, ya que permite identificar con claridad el área en que deben efectuarse mediciones y estudiarse los efectos de los impactos potenciales.

Para sistemas de abastecimiento de agua potable el área de influencia para las evaluaciones ambientales debe tener en cuenta, en primer lugar y como mínimo, la cuenca hidrográfica (superficial y/o subterránea) deberá presentarse cartografía con su delimitación en la que se deberá marcar los distintos impactos sobre la fuente (p.e. áreas sembradas con determinada práctica, lugares de descarga de efluentes aguas arriba con determinada calidad donde se ubica la fuente y/o donde se emplazará el proyecto). Asimismo se debe considerar el área donde se ubican los usuarios del recurso hídrico si éstos se encontrasen fuera de la cuenca indicada.

Dentro de esta área de influencia se definen usualmente las áreas de influencia directa e indirecta. Los límites de estas áreas deben definirse en función de la probabilidad de interacción operaciones-ambiente, siendo máxima en el centro de las actividades y nula por fuera de dichos límites. Esta relación depende de la escala considerada, de la dinámica de los procesos ambientales, y de la intensidad de los impactos esperados.

A una escala local o área de influencia directa (orden de magnitud espacial de hectáreas) se espera una probabilidad alta de interacción entre las obras y el ambiente, y la ocurrencia de impactos ambientales directos e inmediatos.

A una escala regional (área de influencia indirecta), en cambio, la probabilidad de interacción es normalmente de baja a media, y el orden de magnitud espacial es de varios cientos de km² o de varias decenas de km. Los impactos se producen generalmente de forma indirecta. Un ejemplo es la captación de grandes volúmenes de agua en relación a su disponibilidad en un arroyo, cuyos efectos pueden manifestarse incluso a distancias considerables de la toma de agua afectando otros usos.

En la **Figura 4** se muestra cómo influye sobre la calidad ambiental la pérdida de agua en las cuencas hidrológicas como consecuencia de las actividades humanas. Una consecuencia de la pérdida importante de caudal en un río es, por ejemplo, la disminución de la capacidad de autodepuración del cuerpo de agua. Esto puede producir impactos socio-ambientales adversos al generar o agravar una situación previa de contaminación por vertido de efluentes cloacales o industriales.

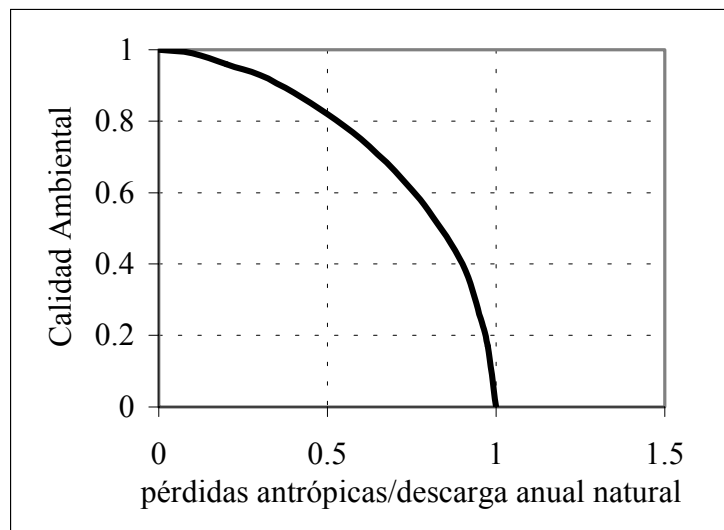


Figura 4. Variación de la calidad ambiental en función de las pérdidas de agua en las cuencas como consecuencia de las actividades antrópicas (Fuente: Batelle 1972)

2.2. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

El diagnóstico ambiental tiene como objetivo determinar las condiciones sobre las cuales actuará el proyecto, incluyendo los “pasivos ambientales” o impactos provocados por actividades anteriores. Esto implica caracterizar las mismas en una situación pre-operativa, identificando los recursos y procesos ambientales, ecológicos y socio-culturales, especialmente aquellos más susceptibles de ser impactados por las obras y acciones propuestas. El diagnóstico se basa en una indagación exhaustiva de la información existente, que se complementa con un relevamiento de campo completo y detallado (a modo de monitoreo ambiental previo) en el área de influencia, donde se realizarán mediciones directas.

En caso de no utilización de parte del sistema ya existente, se deben estudiar los costos de recuperación y saneamiento del espacio y/o del impacto provocado por el anterior sistema operante.

Es fundamental que el diagnóstico de todos los componentes ambientales se realice con un enfoque aplicado hacia la evaluación explícita de su sensibilidad intrínseca y en relación a las acciones antrópicas proyectadas. La sensibilidad según cada componente se puede estimar cuantitativamente, por ejemplo, por medio de índices de sensibilidad ambiental que varíen entre 0 y 1 reflejando una sensibilidad ambiental nula y máxima, respectivamente, frente a las tareas y obras del proyecto. Ello permitiría la categorización y la comparación entre distintos componentes.

Al asignar valores de sensibilidad a cada variable ambiental seleccionada hay que tener en cuenta la calidad existente del recurso en el área de influencia. Es decir que la sensibilidad debe reflejar también la condición actual, particularmente en los

componentes del ambiente físico y del ambiente biológico. En estos casos se deberá considerar el grado de deterioro o degradación actual como consecuencia de otros factores antrópicos que generan o han generado impactos ambientales. Por ejemplo, en un área muy urbanizada cercana a una fuente de agua, la sensibilidad actual de las comunidades vegetales frente a las tareas y obras proyectadas para la instalación de una toma de agua tiende a cero o es muy baja, ya que prácticamente toda la vegetación natural ha sido seriamente modificada. También es conveniente que al asignar valores de sensibilidad se tengan en cuenta valores de referencia (estándares) de calidad ambiental (por ejemplo, concentración de plaguicidas, de bacterias coliformes, O₂ disuelto) para precisar el grado de daño ambiental actual.

En la **Tabla 6**, **Tabla 7** y **Tabla 8** se presentan listas de variables e información de los medios abiótico, biológico y antrópico respectivamente, que pueden ser potencialmente relevantes para EIA de proyectos de abastecimiento de agua potable, dependiendo tanto del tipo de proyecto como de la fuente de agua.

Es conveniente, especialmente para los casos de proyectos cuyos impactos ambientales resultantes dependan primariamente de la ubicación de las obras y tareas, expresar las condiciones ambientales de base en mapas temáticos detallando los límites de las cuencas y subcuencas hidrográficas, las características del medio físico y biológico, las actividades humanas dentro de ellas, y los sitios o áreas de interés particular.

Medio Físico o Abiótico
<p>Aspectos meteorológicos: Temperaturas (media, máxima y mínima media anual; días con heladas). Precipitaciones (media anual, medias mensuales, estación seca). Evapotranspiración potencial y real. Vientos (direcciones mas frecuentes, velocidad media). Tipo climático; procesos regionales.</p> <p>Aspectos topográficos (mapas): Recopilación de mapas y fotografías aéreas existentes. Recopilación de planos resultantes de levantamientos altimétricos ya efectuados, en escala conveniente. Recopilación de planos resultantes de levantamientos catastrales o semi-catastrales.</p> <p>Aspectos hidrogeológicos: Recopilación de mapas (geológicos, hidrogeológicos y geomorfológicos) y estudios existentes. Reconocimiento geológico y geomorfológico de la superficie. Sismicidad y vulcanismo. Profundidad del basamento hidrogeológico. Identificación (ubicación y tipo) de las unidades hidrogeológicas (acuíferos, acuícludos, acuitardos y acuífugos). Areas de recarga Parámetros de los acuíferos. Piezometría del agua subterránea, fluctuaciones estacionales y de menor período del nivel freático. Ubicación de zonas de recarga, balance hídrico, volumen de recarga. Perfiles de perforaciones existentes. Hidroquímica de las aguas subterráneas. Relación entre aguas subterráneas y aguas superficiales.</p> <p>Aspectos edafológicos: Tipos e distribución espacial de los suelos. Permeabilidad de los suelos. Susceptibilidad a la erosión. Déficit/exceso de agua en el suelo. Aptitud agrícola.</p> <p>Aspectos hidrológicos: Reconocimiento y delimitación general de la/s cuenca/s y microcuenca/s en relación a los cuerpos de agua existentes y posibles fuentes alternativas. Caracterización de las cuenca/s según sus variables hidrológicas (forma, declives, red de distribución). Red de drenaje natural y artificial. Régimen de inundaciones.</p> <p>Propiedades fisico-químicas: Temperaturas. Transparencia. Oxígeno disuelto. Demanda Química de Oxígeno (DQO). Nitratos, nitritos. Fósforo total. Sólidos suspendidos totales. Velocidades de sedimentación. Concentración de metales pesados. Concentración de pesticidas.</p> <p>Aspectos hidráulicos: Serie de niveles y caudales de los cuerpos de agua, pendientes hidráulicas. Capacidad de conducción de las sucesivas secciones. Singularidades (curvas, obstrucciones, obras antrópicas). Rugosidad.</p>

Tabla 6. Lista de variables del medio e información abiótica a tener en cuenta en el diagnóstico del área de influencia de proyectos de abastecimiento de agua potable

Medio biológico
Distribución de las comunidades vegetales (Mapas de vegetación y zoogeográficos).
Unidades de conservación (reservas, parques, monumentos naturales): distribución, jurisdicción, personal de vigilancia, usos antrópicos. Proyectos de creación de reservas.
Listas de diversidad del área en estudio y/o regiones limítrofes ecológicamente equivalentes.
Riqueza, abundancia relativa, y distribución geográfica de especies bentónicas, planctónicas, nectónicas, algas macrófitas e hidrófitas vasculares.
Grado de eutroficación.
Concentración de bacterias coliformes totales y fecales, Nematodos.
Disponibilidad de hábitat para especies acuáticas migratorias.
Datos sobre especies de interés epidemiológico (vectores o reservorios de enfermedades de interés sanitario).
Reconocimiento “in-situ” de las distintas unidades de vegetación terrestre o costera a fin de verificar el grado de perturbación, identificar el tipo de uso antrópico, evaluar sus características espaciales, y validar los análisis de sensibilidad ambiental.
Análisis de la tendencia de perturbación de los ecosistemas naturales.

Tabla 7. Lista de variables del medio e información biológica a tener en cuenta en el diagnóstico ambiental del área de influencia de proyectos de abastecimiento de agua potable

Medio antrópico, socio-económico o cultural
<p>Aspectos Epidemiológicos: Incidencia de enfermedades de origen hídrico (dermatopatías, cólera, diarrea, hepatitis, amebiasis, giardiasis). Análisis estadísticos sobre riesgo de transmisión, distribución, frecuencia o número de casos; causa de morbilidad/mortalidad.</p> <p>Aspectos Demográficos, Socio-Económicos y Culturales: Creación y evolución histórica de la localidad y demás centros poblados incluidos en el programa. Población actual y evolución demográfica según los diferentes censos. Vías de comunicación y transporte (en particular de residuos contaminantes). Principales industrias, actividades agropecuarias de la región y centros comerciales, y sus distancias respecto de los centros poblados. Situación e importancia de los establecimientos industriales: tipo de producción, residuos generados, volúmenes de vertido, tipos de tratamiento. Actividad agrícola, forestal, pastoril, y pesquera. Información sobre los medios de comunicación masivos, oral y escrito. Información sobre las actividades económicas actuales. Nivel de vida de la población residente en el área de estudio. Tipos y frecuencia de usos antrópicos. Actividad de grupos ambientalistas locales –ONGs-. Valor simbólico de las especies silvestres para la comunidad local. Ubicación, caracterización y análisis de las actividades dentro de la cuenca hídrica.</p> <p>Aspectos de Infra-estructura Urbana: <i>Desarrollo Urbano</i> Planes de desarrollo urbano. Planos de regulación de uso del suelo y su relación con las cuencas hídricas. Zonas hacia las cuales tiende a desarrollarse la localidad. Proyectos o estudios urbanísticos sectoriales existentes en el área de ejecución del proyecto. Distribución espacial de los tipos de uso del suelo en el planeamiento urbano (residenciales, comerciales, industriales, equipamiento, recreativos, reservas). Catastro de los sistemas de agua, sistemas cloacales, energía eléctrica, teléfono, gas, cuyas obras puedan interferir con las del proyecto. Características y zonas (ubicación espacial) de vertido de líquidos cloacales y de descarga de camiones atmosféricos; frecuencia de desagote de pozos absorbentes. Características y zonas (ubicación espacial) de vertido de efluentes industriales. Colecta y disposición final de los residuos sólidos (situación actual y previsiones futuras). Información sobre la situación de los desagües pluviales existentes. Red vial (planes y proyectos de obra de pavimentos).</p> <p><i>Abastecimiento Actual de Agua:</i> Ubicación geográfica de las fuentes de abastecimiento dentro de la cuenca hídrica Planos de la red de agua potable con posición planialtimétrica de las tuberías. Planos y localización de las estaciones de tratamiento y de las instalaciones complementarias, estaciones de bombeo, reservas. Radio servido actual. Capacidad de las fuentes, de las estaciones y de las conducciones. Dotación actual y su evolución histórica. Hábitos de uso del agua que presenta la población (riesgo de cultivos y jardines, otros consumos de agua en actividades externas a las casas). Consumos comerciales e industriales. Forma de abastecimiento de la población que no cuenta con conexión al servicio público. Identificación de grandes consumidores de agua potable.</p> <p>Aspectos Institucionales Autoridad de Cuenca , Municipio, Gobierno o institución correspondiente existentes y su reglamentación. Legislación nacional, provincial y municipal existente. Institución Ambiental capacitada existente.</p>

Tabla 8. Lista de variables del medio e información antrópica a tener en cuenta en el diagnóstico ambiental del área de influencia de proyectos de saneamiento

3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

3.1. INTRODUCCIÓN

Como se indicó en la Sección 1.4.1, el análisis de los impactos ambientales incluye la identificación, valoración y cuantificación de los probables impactos durante la etapa de operación y, si fuera el caso, abandono de un emprendimiento (como, por ejemplo, perforaciones y pozos de agua), así como durante la etapa de construcción.

En la **Tabla 9** y en la **Tabla 10** se enumeran los principales impactos ambientales generados durante la operación y construcción, respectivamente, en la implementación de cada uno de los subsistemas que componen un sistema de abastecimiento de agua potable (captación, tratamiento, y distribución del agua). La descripción y explicación de los mismos se organiza en las siguientes secciones:

- 3.2 Impactos relacionados con la Captación de Agua (fuente, obras de captación, estaciones de bombeo, e impulsión de agua cruda).
- 3.3. Impactos relacionados con el Tratamiento de Agua (planta de tratamiento, disposición de lodos residuales).
- 3.4 Impactos relacionados con el Sistema de Distribución de Agua Potable (unidades de almacenamiento, red de distribución).
- 3.5 También se incluye una sección para identificar los impactos relacionados con el Manejo de los Líquidos Cloacales (red de distribución, tratamiento, disposición final), debido a que todo proyecto de agua deberá considerar (p.e. a través de la ejecución de otro proyecto específico en paralelo), una solución adecuada para la disposición de los desagües cloacales.

Para los distintos impactos ambientales potenciales que se describen, se especifican también las medidas correspondientes del PMA que se adoptan para corregirlos o minimizarlos, las cuales se explican en la Sección 5.4. Dado que existen mas de 50 medidas posibles, éstas se enumeran para facilitar su ubicación y referencia en el texto.

Asimismo, en cada caso, se hace referencia a la instalación de un sistema en una zona donde no existe servicio previo. Cuando se trate de extensiones del servicio (de la red de distribución, o ampliación de plantas) los impactos previstos sobre el ambiente son menos importantes y/o de menor intensidad. Sin embargo, si se considera la ampliación de las obras de captación los impactos pueden ser mayores. En caso de construcciones parciales del sistema (por ejemplo, construcción de unidades de almacenamiento) sólo se consideran los impactos indicados en la Sección correspondiente.

Es importante destacar que la mayoría de los recaudos para evitar los impactos ambientales más importantes deben tomarse en la etapa de diseño, y se vinculan con la selección correcta de la fuente de agua, la ubicación adecuada de las obras de captación, y las estructuras necesarias para garantizar una provisión de calidad constante a la población, para lo cual es necesario tener un conocimiento profundo del funcionamiento del sistema a explotar y de sus interrelaciones.

Dada la complejidad y el carácter interdisciplinario de la problemática ambiental en proyectos de abastecimiento de agua y de desagües cloacales, es conveniente implementar Sistemas de Gestión Ambiental que abarquen todos los componentes de la prestación del servicio de saneamiento.

La identificación de impactos y sus correspondientes medidas de mitigación y/o compensación deberán formularse en función de implementar este Sistema de Gestión Ambiental.

Subsistema de captación	
<i>Impactos comunes al aprovechamiento de agua superficial y subterránea</i>	
1.	Impacto sobre la calidad del agua debido a la mala ubicación de las captaciones.
2.	Impacto sobre la calidad del agua por disposición de lodos o desechos industriales.
3.	Riesgo para la salud pública por contaminación del agua cruda.
4.	Peligro para el público que circula por la zona de captación y/o utiliza el cuerpo de agua.
5.	Impactos indirectos por la presencia de la nueva infraestructura (incendios, tala no autorizada, generación de microbasurales).
6.	Alteración de los canales o cursos de agua y del hábitat de la flora y fauna por inundaciones locales.
<i>Aprovechamiento de fuentes de agua superficial</i>	
7.	Modificaciones del cuerpo de agua y alteración de la hidrodinámica, que afectan los usos antrópicos.
8.	Disminución de la recarga del acuífero local.
9.	Impacto sobre la recarga de cuerpos de agua cerrados aguas abajo.
10.	Disminución del volumen de descarga al mar.
11.	Bajo rendimiento de la explotación debido a un cálculo equivocado del caudal seguro del curso.
12.	Aumento de sedimentación aguas abajo de la captación.
13.	Impacto sobre el nivel en cuerpos de agua lénticos.
14.	Impacto sobre el caudal de ríos que nacen en cuerpos de agua lénticos explotados.
15.	Contaminación a través del acuífero.
16.	Cambios en la dinámica de nutrientes de los cuerpos de agua.
17.	Modificación de la calidad del agua para la vida acuática.
18.	Alteración de la llanura de inundación de los cursos.
19.	Alteración de las poblaciones piscícolas.
20.	Disminución de la capacidad de autodepuración.
<i>Aprovechamiento de fuentes de agua subterránea</i>	
21.	Disminución del caudal de manantiales o acuíferos por explotación de otro asociado hidráulicamente.
22.	Disminución del caudal de un curso, o de la recarga en un cuerpo léntico.
23.	Formación de un cono de depresión o embudo de bombeo en una perforación.
24.	Interferencia de pozos (campos de bombeo o batería de pozos).
25.	Baja eficiencia del pozo debido a una mala ubicación de los filtros.
26.	Problemas de rendimiento del pozo de abastecimiento (durante su operación).
27.	Variación en la relación agua superficial - agua subterránea.
28.	Modificación del comportamiento hidráulico en acuíferos confinados o semiconfinados.
29.	Intrusión marina.
30.	Formación de conos salinos.
31.	Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras.
32.	Disminución de la porosidad y subsidencia.
33.	Riesgos por contaminación de los acuíferos con líquidos cloacales.
34.	Impacto sobre la calidad del agua debido al diseño inadecuado del pozo de abastecimiento.
35.	Sobreexplotación y agotamiento del recurso.
36.	Accidentes por abandono de pozos.
<i>Aprovechamiento del agua de lluvia</i>	
37.	Impacto sobre el balance hídrico por disminución de recarga en fuentes superficiales y/o subterráneas.
Subsistema de tratamiento	
<i>Deficiencias en el tratamiento</i>	
38.	Riesgos para la salud pública por contaminación del agua cruda en la planta.
39.	Riesgos para la salud pública por deficiencias en alguna/s de la/s etapa/s del proceso de potabilización.
40.	Riesgos para la salud pública por la ocurrencia de hechos atípicos inevitables (contingencias).
41.	Riesgos para la salud pública por mala cuantificación de los compuestos químicos agregados al agua.
42.	Riesgos para el personal técnico por manipulación de compuestos tóxicos (cloro gaseoso).
43.	Proliferación de fauna oportunista (como roedores perjudiciales).
44.	Discontinuidad en el servicio por interrupción del funcionamiento de la planta de tratamiento.
<i>Disposición de lodos y sólidos</i>	
45.	Agravamiento de problemas regionales en materia de manejo de desechos sólidos.
46.	Alteración de la calidad de los suelos, agua y biota.

Subsistema de distribución
<i>Impactos por contaminación del agua distribuida</i>
47. Contaminación del agua en la red por mal estado de las cañerías.
48. Contaminación por ingreso de agua freática o contaminantes debido a presiones bajas en la red.
49. Contaminación del agua en los tanques prediales.
<i>Impactos por pérdidas de agua potable</i>
50. Alteración de la dinámica del agua subterránea por infiltración de agua.
51. Alteración de humedales o fuentes de agua superficiales por derrames masivos de agua tratada.
52. Perturbación de flora y fauna acuática debido a derrames masivos de agua tratada.
53. Inconvenientes e impactos estéticos sobre el vecindario por rotura o pérdida en la red de distribución.
54. Desaprovechamiento del recurso hídrico debido a porcentajes altos de agua no contabilizada.
<i>Impactos por discontinuidad en el abastecimiento de agua potable</i>
55. Riesgos para la salud pública por discontinuidad en el servicio de abastecimiento.

Tabla 9. Lista de posibles impactos ambientales que pueden generarse durante la operación de un sistema de abastecimiento de agua potable

Subsistema de captación
<i>Obras de captación</i>
56. Alteraciones de caudal o dirección de la corriente de agua.
57. Destrucción de ambientes litorales.
58. Eliminación de la cobertura vegetal.
59. Aumento de procesos erosivos por eliminación de la cobertura vegetal y la apertura de caminos.
60. Alteración de las comunidades acuáticas por ingreso de sólidos en suspensión.
61. Aumento de procesos de erosión de márgenes y sedimentación aguas abajo de las obras.
62. Riesgos de accidentes para operarios.
<i>Construcción de acueductos</i>
63. Accidentes por abandono de pozos de exploración.
64. Perturbación de flora y fauna terrestre por excavaciones y/o voladuras.
65. Destrucción de sitios de importancia arqueológica, paleontológica o de interés turístico.
66. Obstrucción del escurrimiento superficial, inundaciones, desmoronamientos.
<i>Subsistema de tratamiento</i>
67. Alteración de las condiciones de vida de la población por desalojo y/o expropiación de propiedades.
68. Aumento de erosión eólica y fluvial a causa de la deforestación y limpieza de la superficie.
69. Trastornos en el tráfico y la red vial.
70. Molestias sonoras y visuales a la población vecina.
71. Aumento de la contaminación del aire.
72. Riesgos de accidentes para operarios.
73. Perturbación de flora y fauna terrestre por excavaciones y/o voladuras.
74. Destrucción de sitios de importancia arqueológica, paleontológica o de interés turístico.
<i>Subsistema de distribución</i>
75. Perturbación de la arboleda urbana.
76. Destrucción de sitios arqueológicos paleontológicos y/o de interés turístico por excavaciones y/o voladuras.
77. Deterioro de las instalaciones de servicios urbanos (energía eléctrica, gas, agua y teléfono).
78. Obstrucción de las obras de drenaje o del escurrimiento superficial natural de las aguas.
79. Incremento del riesgo de accidentes de operarios y resto de la población.
80. Obstrucción del tránsito y transporte público (efecto barrera).
81. Molestias visuales y sonoras sobre la población vecina a las obras.

Tabla 10. Lista de posibles impactos ambientales que pueden generarse por la construcción de un sistema de abastecimiento de agua potable

3.2. IMPACTOS RELACIONADOS CON LA CAPTACIÓN DE AGUA

3.2.1. Impactos Durante la Etapa de Construcción

3.2.1.1. Obras de Captación

Las obras de captación son una de las principales fuentes de impactos ambientales en la construcción de los sistemas de abastecimiento de agua potable. El desvío de la totalidad o parte de los cursos de agua para efectuar las obras puede afectar tanto a los usos antrópicos del curso aguas abajo (pesca, navegación, suministro de agua para consumo o riego, disposición de efluentes urbanos, actividades recreativas) como a los ecosistemas acuáticos.

Estos impactos son temporarios debido al acotado período de construcción (salvo en el caso de las represas que se trata en la Sección 3.2.2.3), por lo cual se intenta minimizar su intensidad. En el caso de los usos antrópicos del curso, la coordinación regional previa disminuye los impactos aguas abajo ya que permite prever las medidas necesarias para cada uno de los sistemas/usuarios (**Medida 21**). Los impactos sociales pueden disminuirse si, para fijar los tiempos de las obras, se tienen en cuenta, por ejemplo, las épocas de turismo, u horarios de mayor actividad de la población (**Medida 19**).

En el caso del componente biológico, lo ideal es reducir los tiempos o acotarlos a períodos donde la sensibilidad del sistema es menor evitando, por ejemplo, las épocas de desove y reproducción, y la destrucción de los ambientes litorales (**Medida 1**). Por otro lado, la eliminación de la vegetación terrestre, así como la apertura de caminos, favorecen los procesos erosivos, y provocan un aumento en el ingreso de material clástico al cuerpo de agua. Esto afecta en forma directa, por contaminación mecánica, a los organismos acuáticos (ya sean larvas, huevos, adultos), por enterramiento de especies que viven en los sedimentos, o por arrastre de organismos planctónicos hacia el fondo. De manera indirecta, el aumento de sólidos en suspensión, al incrementar la turbidez, afecta a las comunidades de algas (tanto planctónicas como bentónicas) y plantas acuáticas al reducir la penetración de la luz. Estos efectos pueden pasar a ser permanentes, y agravarse con el tiempo, si no se toman ciertas precauciones, como restaurar la cobertura vegetal una vez finalizadas las obras (**Medida 15**).

En el caso de la apertura de caminos, tanto temporarios como permanentes, debe hacerse de manera de disminuir la erosión y, así, evitar que el agua de lluvia que escurre sobre la superficie se encauce generando cárcavas. Este proceso, una vez iniciado, es muy difícil de detener, y puede producir sedimentación y/o la colmatación del cauce. A su vez, el desvío de parte o la totalidad del caudal del curso de agua involucrado puede favorecer los procesos de erosión de márgenes y sedimentación aguas abajo de las obras. Lo mismo puede ocurrir al restaurarse el cauce normal una vez finalizada la etapa de construcción. Una forma de disminuir la intensidad de estos impactos, tanto de los temporarios como de los permanentes, es implementar los controles de erosión y sedimentación correspondientes (**Medida 40, Medida 42**).

Debido a la magnitud y ubicación de algunas de estas obras, el riesgo de accidentes para el personal, y para la población en general, puede ser importante. Sin embargo es posible disminuirlo casi totalmente mediante una instrucción específica, el cumplimiento estricto de los requerimientos legales de seguridad e higiene en el trabajo, y la señalización adecuada de las instalaciones y obras (**Medida 7, Medida 10, Medida 11**).

Es imprescindible que la construcción se ajuste exactamente a lo planificado. Hacer modificaciones y arreglos en muchas de estas obras resulta muy difícil y costoso ya que involucran desvíos, al menos parciales, de los cursos de agua, o realizar nuevas perforaciones para el caso de los acuíferos. Para ello es necesario implementar verificaciones y supervisión de obra permanentes (**Medida 5**).

Por otra parte, durante las construcciones se deberá verificar continuamente el diseño de todas las obras de forma tal de reducir los impactos ambientales que puedan no haberse considerado durante las etapas de planificación y diseño. Esto se logra mediante inspecciones de obra permanentes, con equipo de apoyo y la instrucción y concientización del personal contratista antes de iniciar las obras, fomentando la actitud de revisión, consulta y comunicación permanente ante la detección de problemas imprevistos (**Medida 5, Medida 44**).

3.2.1.2. Construcción de Acueductos

Los impactos producidos por la instalación de cañerías para el transporte de agua cruda desde la fuente a la planta de tratamiento dependen de la distancia entre las mismas, ya que son necesarias excavaciones a lo largo del trayecto. De esta manera, es importante tener en cuenta este aspecto durante la etapa de planificación (**Medida 1**).

Cuando estas obras se realizan en zonas no pobladas, los principales impactos potenciales son la alteración de bienes y servicios rurales, la perturbación de la flora y fauna, y la destrucción de sitios de importancia arqueológica, paleontológica o de interés turístico. En este último caso, deben informarse los hallazgos arqueológicos, detener las obras si es necesario y proceder al rescate del patrimonio como una manera de compensar y minimizar los efectos negativos (**Medida 20**). La fauna terrestre puede verse perturbada tanto por la eliminación de su hábitat, como por los ruidos generados por la obras (sobre todo si son necesarias voladuras para realizar las excavaciones). Una vez finalizado el obraje, deben implementarse medidas para favorecer la restauración de la cobertura vegetal a fin de evitar los procesos erosivos (tanto el lavado del suelo como la erosión eólica), y favorecer el repoblamiento de especies animales (**Medida 15, Medida 16**).

Otro impacto probable es la obstrucción del escurrimiento superficial de las aguas, que puede incrementar los costos de las obras por inundación de zanjas o desmoronamiento de terraplenes. En ciertos casos, se pueden modificar temporaria o permanentemente los cauces de los arroyos y afectar a las especies presentes en el mismo. En el caso de obras que involucren a cursos de agua naturales, se debe evitar instalar estructuras que los bloqueen, y se deben implementar controles de erosión y sedimentación para no perturbar a la flora y fauna acuáticas, en particular en áreas de desove o reproducción (**Medida 1, Medida 40, Medida 42**).

Si los acueductos se construyen en las márgenes de cursos de agua, se habrá previsto la protección de las cañerías por posibles socavaciones de las márgenes en crecidas de importancia. Esto debe ser estudiado.

3.2.2. Impactos Durante la Etapa de Operación

Los impactos potenciales debidos a la captación de agua son altamente dependientes del tipo de fuente elegida y de la necesidad de realizar tareas o construcciones en la toma.

Por lo tanto, esta Sección se ha dividido entre las fuentes superficiales, subterráneas, y de agua de lluvias. Además, se tiene en cuenta el caso en que es necesaria la construcción de represas para implementar el sistema de abastecimiento de agua.

En **Tabla 11** se señalan las principales características de la cantidad y calidad del agua dependiendo del tipo de fuente.

Fuente		Cantidad de agua	Calidad de agua
Superficial		Depende de factores como: - área de la cuenca de aporte - relieve de la cuenca - condiciones de la superficie del suelo - geología del subsuelo - clima - existencia de obras de control y utilización del recurso aguas arriba y abajo del lugar de captación.	Depende de factores como: - grado de ocupación de la cuenca de aporte - práctica de actividades potencialmente contaminantes en el área de la cuenca - hidrogeología del área - existencia de sitios de vertido de efluentes urbanos/industriales aguas arriba - eutroficación
Subterránea	Acuífero Libre	- Generalmente capaz de abastecer a una familia, a un pequeño grupo de familias, o pequeñas poblaciones.	- El agua sufre filtración natural por las capas del suelo (aunque esto puede no ser muy efectivo dependiendo del tipo de contaminante). - hidrogeología del área - Exposición importante a contaminación por organismos patógenos, debido principalmente a la proximidad de pozos absorbentes, y entrada de agua de lluvia.
	Acuífero Confinado	- Puede abastecer a distintos tipos de ciudades dependiendo de las características geológicas del subsuelo, entre otros factores.	- Poca exposición a contaminación por actividades humanas (a menos que las actividades se realicen en áreas de recarga); sin embargo pueden existir sustancias químicas de origen natural nocivas para el hombre. - Hidrogeología del área
Agua de lluvia		- Depende de las precipitaciones del lugar.	- Por no poseer sales disueltas es insípida y poco digestiva. - Puede sufrir contaminación en los techos por partículas o por heces de pequeños animales. - Puede tener contaminantes (partículas del aire), pH bajo (lluvias ácidas). - Eutroficación del reservorio.

Tabla 11. Comparación entre los diversos tipos de fuentes de agua en relación a las implicancias ambientales (Fuente: adaptado de Barros *et al.* 1995)

Es importante destacar el hecho de que existe una relación entre las aguas superficiales y subterráneas. El tipo de conexión hidráulica entre el acuífero y la fuente de agua superficial (arroyo, río, lago, laguna) está dado principalmente por dos factores: a) la existencia de formaciones permeables en la base y/o laterales de la fuente superficial, y b) la situación relativa de los niveles de agua de la fuente superficial y los niveles hidráulicos (freáticos o piezométricos) en la zona del acuífero contigua a la fuente superficial. De esta forma, por ejemplo para el caso de los cursos de agua, se pueden identificar distintos tipos según su relación con el agua subterránea:

- Indiferente o sin conexión hidráulica: aquel cuyo cauce es impermeable.
- Efluente: aquel que recibe aportes de agua subterránea (situación frecuente en las grandes llanuras aluviales de las zonas húmedas, como por ejemplo el río Salado en la provincia de Buenos Aires).
- Influyente: aquel que pierde parte de su caudal por infiltración (caso típico en zonas áridas o semi-áridas en las que, muchas veces, constituye la principal fuente de recarga del acuífero, por ejemplo el río San Juan en el Valle de Tulúm, provincia de San Juan).
- Influyente-Efluente: aquel que recibe agua subterránea en una de sus márgenes y cede agua a través de la otra.
- Cambio de efluente a influyente durante una crecida.

Debe tenerse en cuenta que la clasificación de un río puede cambiar a lo largo de su curso, según su cauce corte acuíferos con distintos niveles freáticos o piezométricos, o atraviere formaciones permeables o impermeables.

Por lo tanto, antes de proceder a la explotación del recurso de agua es fundamental conocer el tipo de conexión hidráulica existente entre los distintos sistemas involucrados, ya que la explotación de uno o varios de ellos puede introducir modificaciones en los demás. Estas modificaciones pueden generar distintas consecuencias tales como problemas a otros usuarios del sistema o de sistemas relacionados, y contribuir a la contaminación del recurso.

3.2.2.1. Impactos Comunes al Aprovechamiento de Agua Superficial y Subterránea

Un factor muy importante a tener en cuenta es la elección correcta del lugar en donde se realizará la captación ya sea de agua superficial y subterránea, ya que si la toma se ubica cerca o aguas abajo de zonas contaminadas o con riesgo de contaminación, existe un peligro muy alto de que en el futuro, no necesariamente lejano, empeore la calidad del agua explotada, haciéndola no apta para el consumo humano. El recurso también puede contaminarse si se realizan disposiciones de líquidos cloacales, lodos o desechos industriales sin tratar aguas arriba del área de captación. Estos aspectos deben tenerse en cuenta durante la planificación del sistema de abastecimiento (**Medida 1, Medida 25**), por lo que deberán ubicarse, caracterizarse y analizarse espacialmente dichas fuentes contaminantes en mapas que abarquen las cuencas del área de influencia.

La contaminación del agua cruda más allá de los límites para los que fue diseñado el sistema de potabilización, tanto si es ocasional como permanente, genera un importante riesgo para la salud pública por lo que es necesario implementar controles de calidad del agua captada (**Medida 29, Medida 31, Medida 36**). De la misma manera que para el

caso de las represas, es fundamental la existencia de un manejo regional de la cuenca que garantice los tipos de usos permitidos del cuerpo de agua, en especial aguas arriba de la toma, y las zonas a ser protegidas (**Medida 21, Medida 25**).

De existir una Autoridad de Cuenca (u organismo equivalente), se debe consultar a la misma sobre el proyecto a realizar, tomando conocimiento de las distintas actividades en la cuenca donde se llevará a cabo la obra. La Autoridad de Cuenca debe evaluar que el desarrollo de la obra no perjudique las actividades ya existentes, tales como otros sistemas de captación de agua potable, o actividades recreativas. Una vez en marcha el proyecto se debe entregar a la Autoridad de Cuenca una copia de todos los estudios realizados, como así también los registros de las obras realizadas. De este modo, el organismo de control, al reunir toda la información existente sobre la misma, podrá ser consultado en caso de realizarse nuevas obras. A su vez, esto contribuye a mejorar el conocimiento sobre la cuenca y por lo tanto a optimizar su aprovechamiento sin comprometer la disponibilidad y calidad de los recursos ambientales.

De no existir una Autoridad de Cuenca, es recomendable la conformación de una entidad similar con el fin de evitar interferencias entre los distintos usos y, además, contribuir a la recopilación de la información existente. Esto facilita su utilización, ya que muchas veces los datos no pueden ser reproducidos, o deben volver a obtenerse con la consiguiente inversión de tiempo y dinero que podría ahorrarse. Las instituciones que pueden funcionar como Autoridad de Cuenca pueden ser las municipalidades, por ejemplo en un departamento de hidráulica, y los gobiernos provinciales. En muchos casos puede ser de gran utilidad la existencia de organismos interprovinciales, en situaciones de cuencas muy extensas o complejas.

Existe un cierto peligro para el público que circula cerca de la zona de captación, en particular para aquellas personas que utilizan los cuerpos de agua para actividades recreativas aguas arriba de la toma. Este riesgo puede disminuirse tomando las medidas pertinentes e instruyendo a la población acerca del uso correcto del ambiente (**Medida 13, Medida 35**). También debería evitarse el acceso de animales domésticos y la actividad pecuaria en el área de influencia de las obras de captación (**Medida 36**).

Por otro lado, las nuevas estructuras pueden llevar al desarrollo de caminos y accesos en las áreas de captación, y de servicios como energía eléctrica. Estas modificaciones, además de generar impactos directos que deben ser evaluados, pueden alterar los usos de estas zonas favoreciendo, en el caso de fuentes de agua superficial, las actividades recreativas (caza, pesca) e incrementando los riesgos de, por ejemplo, incendios, generación de microbasurales o tala no autorizada. Estos efectos indirectos, que pueden constituir un fuerte impacto no previsto sobre los ecosistemas del lugar, disminuyen al existir políticas de desarrollo adecuadas, y si se limita el acceso del público a la zona (**Medida 4, Medida 35**).

Diseños inadecuados o falta de mantenimiento del sistema de conducción de agua cruda pueden afectar diversos recursos ambientales, en general debido a desbordes y/o roturas, al producirse inundaciones locales no previstas. Esto debe tenerse en cuenta durante la planificación y estudio del sistema (**Medida 1**), ya que puede producir alteraciones de los canales o cursos de agua, y del hábitat de la fauna y flora acuáticas. La probabilidad de ocurrencia de estos impactos disminuye si se realiza un monitoreo del estado de la cañería que transporta el agua cruda, y un mantenimiento preventivo de la misma (**Medida 53**).

3.2.2.2. Impactos Relacionados con el Aprovechamiento de Fuentes de Agua Superficial

Impactos Sobre la Hidrodinámica Superficial y Subterránea

La toma de agua de ríos, arroyos o lagos, incluyendo el trasvase de cuencas, puede afectar numerosos recursos ambientales si el caudal captado es significativo con respecto a la disponibilidad del recurso, en particular durante la época de estiaje. La captación de un caudal importante puede afectar al curso de agua y a la dinámica hidrológica de la subcuenca y, de esta manera, a los usos antrópicos aguas abajo (pesca, navegación, suministro de agua para bebida o riego, disposición de efluentes urbanos, actividades recreativas).

El trasvase de cuencas puede modificar de forma importante el balance hídrico de la cuenca ya que, como el término lo indica, se extrae agua de una cuenca hídrica para llevarla a otra. Estos factores deben tenerse en cuenta durante la etapa de estudio debe realizarse la elaboración de modelos del sistema (**Medida 1, Medida 21, Medida 24, Medida 30**), acordes con la disponibilidad de datos y la importancia del posible impacto sobre el recurso y los usos del mismo. En general debe evitarse el trasvase de cuencas, en particular aquellos que involucran caudales significativos de agua.

En el caso de los cuerpos de agua influentes (tanto lóticos como lénticos), éstos constituyen generalmente la principal recarga del acuífero local. Por lo tanto, la explotación del agua superficial y/o la disminución del caudal del río aguas abajo provocará una disminución en la recarga (y por ende en la reserva) del acuífero. Dicha disminución puede favorecer en áreas costeras, como se describe en la Sección 0, la generación de una intrusión salina. Para evitar este tipo de situaciones es fundamental la existencia de un uso integrado y planificado de las aguas superficiales y subterráneas, y la realización de estudios hidrogeológicos previos y monitoreos que permitan evaluar la conexión hidráulica con el acuífero y su evolución (**Medida 21, Medida 22, Medida 23, Medida 24, Medida 28**).

En el caso de ríos excesivamente explotados que desembocan directamente al mar, la disminución del flujo de descarga hace que aumente la penetración del agua salada. La magnitud de este impacto depende de varios factores como, por ejemplo, el tipo de desembocadura, la amplitud de mareas y el caudal del río. Para evitarlo o minimizarlo, además de planificar adecuadamente el uso del recurso, se debe monitorear el caudal descargado al mar y la composición química de las aguas antes del inicio del cualquier proyecto, entre otras medidas posibles vinculadas a estudios ambientales previos (**Medida 23, Medida 24, Medida 30, Medida 31**).

Un posible impacto que debe tenerse en cuenta es el bajo rendimiento en el aprovechamiento de los cursos de agua debido a un cálculo equivocado del caudal seguro. Este es difícil de calcular con exactitud dado el carácter aleatorio del caudal de los ríos, por lo cual debe siempre incluirse la probabilidad de ocurrencia de dicho caudal. Un cálculo equivocado puede ser consecuencia de una falta de estaciones de aforo que provean los datos necesarios (**Medida 30**).

Otro tipo de alteración está dado por un cambio en la velocidad y caudal de un curso de agua (en su totalidad o en un sector), que origina un aumento de la sedimentación aguas abajo de la toma, como consecuencia de la disminución en la capacidad de transporte. Debido a ello debe implementarse un control de sedimentación (**Medida 40**).

La explotación de los cuerpos de agua lénticos (cuerpos de baja energía como lagos y lagunas naturales o artificiales) puede ocasionar aumento de la eutroficación, un descenso en el nivel del agua y, en una situación extrema, puede llevar al agotamiento del recurso (o que el cuerpo de agua se seque). La magnitud del descenso depende de varios factores: a) las dimensiones del cuerpo de agua, b) las variaciones naturales del nivel del agua, c) volumen de agua captado, d) caudal de aporte al cuerpo de agua (superficial y/o subterráneo), y e) balance hídrico del cuerpo de agua. En el caso de ríos que nacen en dichos cuerpos de agua, la explotación de estos últimos puede llevar a un descenso de nivel tal que disminuya el caudal descargado al río. Para prevenir los problemas que puede ocasionar un descenso en el nivel de un cuerpo de agua explotado, o de los asociados, durante la etapa de planificación deben realizarse estudios previos y modelos del sistema considerando la totalidad de la cuenca y, posteriormente, se debe monitorear el caudal de los cursos asociados (**Medida 1, Medida 21, Medida 23, Medida 24, Medida 30**).

Impactos Sobre los Ecosistemas

La disminución en el caudal de un cuerpo de agua lótico, o del nivel en un cuerpo léntico, pueden conducir a un cambio sustancial en los ecosistemas acuáticos dependiendo tanto de las condiciones ambientales externas y las características de la cuenca, como del cuerpo de agua en cuestión (geología, profundidad, morfometría, caudal, tiempo de residencia) y el volumen captado.

Una disminución importante en el volumen de agua tiene el efecto de aumentar la concentración de nutrientes para los organismos. Esto, en ciertas circunstancias, puede favorecer el aumento de la productividad primaria (tanto el desarrollo explosivo de algas conocido como floración, como la proliferación de plantas acuáticas - macrófitas). En casos extremos, esto puede generar un cambio permanente en el estado trófico de dicho cuerpo de agua (eutroficación), y la alteración de las comunidades acuáticas (de algas y organismos heterótrofos como bacterias, protozoos, y macroinvertebrados) lo cual, finalmente, afecta a las poblaciones piscícolas. Es importante destacar que los cambios mencionados, a su vez, no sólo tienen un impacto estético importante sino que disminuyen la calidad del agua captada.

En los casos en que los cursos desembocan al mar, la explotación excesiva con el consiguiente aumento de la penetración del agua salada, al disminuir el volumen de descarga, puede tener efectos importantes sobre los ecosistemas debido a un cambio drástico de las condiciones previas de agua dulce hacia sistemas mixohalinos.

Por otra parte, la captación de agua puede modificar la dinámica de nutrientes, las tasas de descomposición, y generar desbalances hídricos aguas abajo por alteración de la planicie de inundación de los cursos (ya sea por una disminución del caudal, o por erosión y/o aluviación) y de la zona litoral en los cuerpos lénticos (por disminución del nivel de agua). Esta modificación de los ambientes litorales y/o la modificación de la productividad litoral puede a su vez impactar negativamente sobre las poblaciones de peces y afectar otros usos antrópicos (pesca, recreación).

Por último, debe considerarse que el descenso del caudal en los cursos disminuye la capacidad de autodepuración de los mismos. Esto afecta indefectiblemente la calidad del recurso aguas abajo, en los lugares donde existen vertidos de efluentes cloacales y/o industriales.

Dado que todos estos impactos son difíciles de corregir, deben tenerse en cuenta en la etapa de planificación, al elegir la fuente de agua en relación al volumen de captación (**Medida 1, Medida 22, Medida 23, Medida 24**). Una vez ocurridos dichos impactos deben aplicarse medidas tendientes a restaurar las condiciones iniciales (**Medida 15, Medida 16, Medida 17**), y monitorear la calidad del agua, así como los procesos de sedimentación y erosión (**Medida 31, Medida 40, Medida 42**). Además, en estos casos se hace evidente la necesidad de una planificación del uso del recurso a nivel regional a través de una Autoridad de Cuenca, así como el estímulo a la investigación aplicada mediante convenios con Institutos de Investigación y Universidades (**Medida 14, Medida 21**).

3.2.2.3. Impactos Relacionados con la Creación de Represas: Un Caso Particular

En represas para captar agua de lluvia deberán diseñarse obras que permitan descartar la primera escorrentía.

Los proyectos de presas para lograr una provisión de agua relativamente constante son los que más efectos negativos potenciales tienen sobre el ambiente, ya que alteran irremediablemente la dinámica del curso de agua involucrado. Las represas, al modificar el régimen hidrológico de un cuerpo de agua, pueden generar cambios ambientales irreversibles, y afectar a múltiples recursos (físicos, biológicos y socioeconómicos). A su vez, y dependiendo de su magnitud, pueden tener influencia sobre grandes áreas geográficas.

De hecho, entre las obras de captación de agua, la construcción de represas para lograr una provisión de agua relativamente constante es la que más efectos negativos potenciales tienen sobre el medio y la calidad de vida ya que altera irremediablemente la dinámica del curso de agua en cuestión. Los impactos dados por este tipo de obras son muy importantes tanto en intensidad y área de influencia directa, como en la sucesión de efectos indirectos que potencialmente genera.

El cambio más característico provocado por una represa es la creación de un embalse artificial: un ecosistema nuevo y ajeno al ambiente que lo contiene. Ello genera modificaciones en los procesos e interacciones ambientales y ecológicas existentes tales como alteración de la calidad del agua, incremento de la sedimentación, aceleración de la eutroficación y pérdida local de especies. A su vez, este tipo de obra repercute significativamente sobre las actividades sociales y económicas de la región ya que, por ejemplo, inunda áreas con aptitud agrícola o forestal, modifica el valor de la tierra y altera el paisaje. En muchos casos tiene un gran impacto social adverso debido a la necesidad de relocalizar involuntariamente a los pobladores.

Si bien los alcances de estos impactos pueden ser difíciles de apreciar con exactitud, su evaluación depende de las características de la obra, las modalidades de su operación, los intereses en juego de los sectores involucrados (necesidad de abastecimiento de agua potable, agricultura, industria, hidroelectricidad, recreación), las propiedades del ambiente físico, y las características del ecosistema circundante. Asimismo, un análisis cuidadoso de los potenciales problemas y la implementación de medidas correctivas efectivas pueden evitar o minimizar los costos ambientales y sociales del proyecto.

La magnitud de este tipo de obras exige un desarrollo temático particular, que excede los límites del presente capítulo. Existe abundante bibliografía específica para la construcción y operación de represas, cualquiera sea su aprovechamiento (en general para generar

electricidad, y secundariamente como fuente de agua para suministro humano y para riego). Salvo para los casos de pequeñas comunidades que requieren construir presas para captar agua, en general los proyectos de construcción de represas suelen tener un financiamiento, un estudio de viabilidad y un diseño independientes de las obras necesarias para su utilización posterior, dado que se vinculan mucho más con el manejo de cuencas. Esto tiende a involucrar organismos de mayor nivel que el municipal, que se encarga normalmente de la administración y/o control de los sistemas de abastecimiento de agua potable.

En los Anexos 7 y 7.4 se explican con mayor detalle los aspectos ambientales, impactos potenciales típicos, y medidas de protección y monitoreo relacionados con la creación de represas.

3.2.2.4. Impactos Relacionados con el Aprovechamiento de Fuentes de Agua Subterránea

Captación de Agua de Manantiales

Un manantial puede definirse como un punto o zona de la superficie del terreno en la que, de modo natural, fluye a superficie una cantidad apreciable de agua procedente de un acuífero. Por lo tanto, constituye una de las zonas de descarga del agua subterránea. Suele encontrarse en las proximidades de la zona de contacto entre formaciones permeables e impermeables. Su caudal y régimen puede ser muy variable dependiendo de las características del acuífero que lo alimenta.

En algunos lugares en donde existe una alternancia de capas permeables e impermeables aflorantes, las aguas provenientes de manantiales aguas arriba pueden volver a infiltrarse, recargando otro acuífero y/o generando nuevos manantiales. Por lo tanto, una explotación de los primeros generará una disminución en el caudal de los manantiales o bien del acuífero que recargan.

La disminución en el caudal también puede ocurrir en manantiales que alimentan un cuerpo de agua superficial. Cuando la zona saturada alcanza la superficie topográfica en un valle, los manantiales de aguas arriba dan origen a un curso de agua permanente. Por lo tanto, la captación de agua de los manantiales provoca en este caso una disminución en el caudal de dicho curso, que puede estar siendo utilizado o no, o bien estar recargando un cuerpo de agua léntico. La disminución es más notoria cuanto mayor es la proporción del aporte de los manantiales al río.

Estos impactos potenciales deben tenerse en cuenta antes de la implementación del sistema de captación de agua (**Medida 1**). Para ello deben conocerse los distintos usos que se realizan en la cuenca, así como controlar el caudal del río involucrado (**Medida 21, Medida 22, Medida 23, Medida 30**). Como en cualquier caso de aprovechamiento de los recursos hídricos, la realización de modelos favorece su correcta utilización (**Medida 24**). Además deben adoptarse medidas de protección contra la contaminación y proteger el área donde afloran evitando el acceso de animales y personas a la misma (**Medida 35, Medida 36**).

Captación de Agua de Acuíferos

La captación de volúmenes importantes de agua de los acuíferos puede causar descensos en los niveles de los mismos y esto, a su vez, provocar intrusiones salinas,

subsistencia, pérdida de la capacidad de almacenamiento por compactación del suelo o descenso de los niveles de las aguas superficiales, y en casos extremos el agotamiento del recurso. Es fundamental conocer la reserva de los acuíferos y sus variaciones antes de establecerlos como opción para fuente de agua, como así también su conexión hidrológica con otros sistemas (**Medida 1, Medida 22, Medida 28, Medida 33**).

Cuando se bombea agua de una perforación durante un tiempo largo, la superficie hidráulica (freática o piezométrica) adopta la forma de un cono invertido o embudo en cuyo centro se sitúa la perforación. El efecto primario del bombeo es producir un descenso del nivel del agua, que establece así un gradiente hidráulico que pone en movimiento el agua hacia la captación. Poco a poco el cono de influencia va extendiéndose de forma que la cantidad de agua obtenida como consecuencia del descenso del nivel iguale a la extraída por el pozo. Lo mismo ocurre en el caso de una captación horizontal, resultando en la formación de un valle o depresión longitudinal en la superficie hidráulica (freática o piezométrica) cuyo punto más bajo coincide con la captación. La velocidad de expansión y extensión del cono depende del volumen y tiempo de bombeo, y de las características del acuífero explotado.

Si en un acuífero se establecen varias captaciones de agua puede haber interferencia de pozos (campos de bombeo o baterías de pozos). Estos se influyen unos a otros ya que el descenso en cualquier punto del acuífero explotado es la suma de los descensos provocados en el mismo por cada una de las perforaciones consideradas individualmente. Así, la interferencia de pozos genera un descenso en el nivel de bombeo y por lo tanto un incremento en el costo del mismo.

De esta manera, toda captación de agua subterránea genera una modificación en la forma de la superficie hidráulica y, por lo tanto, en las direcciones de flujo del agua, por lo que se debe estimar el área de influencia del bombeo, monitorear el descenso del nivel de agua provocado, y diseñar adecuadamente la batería de pozos (**Medida 24, Medida 28, Medida 33, Medida 34, Medida 38**).

En acuíferos complejos las variaciones laterales de las capas permeables, tanto en profundidad como en espesor, pueden ser muy importantes. Debido a ello el diseño de varios pozos en base a una sola perforación de exploración puede dar como resultado la ubicación de filtros en zonas de baja permeabilidad, y de entubamientos en zonas de alta permeabilidad generando una eficiencia baja. Esto se puede prevenir realizando un diseño adecuado de cada pozo, para lo cual resulta de gran ayuda contar con registros de otras perforaciones realizadas en la zona (**Medida 32, Medida 39**).

Por otro lado, el rendimiento de un pozo de abastecimiento depende de tres factores: el acuífero, el pozo mismo, y la bomba. Una disminución en el rendimiento se debe a un cambio en uno de estos elementos, y la corrección del problema depende de la identificación del elemento en cuestión. Para ello es de gran utilidad la conservación de los registros de pozos (**Medida 39**).

Si un acuífero descarga en cuerpos de agua efluentes, la explotación del primero puede ocasionar una disminución del aporte de aguas a estos últimos y, por ende, una disminución en el caudal en el caso de cuerpos lóticos, y una menor recarga en cuerpos lénticos. Esto genera inconvenientes a otros usuarios e impacta sobre los ecosistemas. Lo mismo ocurre cuando existen manantiales asociados, que constituyen una de las zonas de descarga del acuífero explotado. También puede haber una variación en la relación agua superficial-agua subterránea (de efluente a influente) si existen cuerpos de agua superficiales de tipo efluente dentro del ámbito del acuífero explotado (por ejemplo,

las Arenas Puelches; Hernández 1978). Esta situación puede ser peligrosa especialmente si las aguas superficiales en cuestión se encuentran contaminadas. Además, esta variación provocará un descenso en el nivel de las aguas superficiales que antes recibían agua del acuífero y ahora la ceden. Para prevenir la ocurrencia de estos impactos se requieren, en primer lugar, estudios previos para determinar el tipo de conexión hidráulica entre los distintos componentes (**Medida 22, Medida 23, Medida 24**) y el diseño adecuado de la batería de pozos (**Medida 38**). Durante el aprovechamiento se deben monitorear los niveles freáticos y piezométricos y la composición isotópica de las aguas con el fin de controlar su evolución, y prevenir situaciones de peligro identificadas mediante mapas de vulnerabilidad y riesgo (**Medida 25, Medida 28, Medida 29**). Además, deben monitorearse los caudales de los cursos de agua, el descenso de agua provocado y cuando sea necesario regular el caudal de extracción (**Medida 30, Medida 33, Medida 34**).

En el caso de acuíferos confinados o semiconfinados, la explotación excesiva puede resultar en un descenso de la superficie piezométrica por debajo del techo del acuífero, modificando su comportamiento hidráulico a libre (por ejemplo, las Arenas Puelches; Hernández 1978). Esto genera un flujo vertical descendente a partir del acuífero freático, lo cual puede resultar muy peligroso si este último se encuentra contaminado. Esta situación puede preverse mediante las medidas mencionadas en el párrafo anterior (**Medida 25, Medida 28, Medida 29, Medida 30, Medida 33, Medida 34, Medida 38**), prestando especial atención a la evolución de los niveles freáticos y piezométricos.

En los acuíferos costeros, el equilibrio agua dulce-agua salada es función del caudal de agua dulce vertido al mar. Si se establecen captaciones de agua subterránea se reduce este flujo y, por lo tanto, debe buscarse una nueva posición de la interfaz (con mayor penetración del agua de mar). Si las extracciones superan a la recarga, el equilibrio no se establece, y el agua de mar penetra lenta pero continuamente hasta alcanzar las captaciones. Así pues, el aumento de la explotación de un acuífero trae aparejada una intrusión. Una disminución de la recarga natural, por ejemplo por urbanización o derivación del caudal de los ríos, tiene el mismo efecto. Los casos de situaciones de intrusión marina son numerosos, ya sea por infiltración de aguas salinas procedentes de un estuario (Hernández 1978), de mezclas mar - río (por ejemplo en La Plata: Levin et al. 1973; Panarello *et al.* 1993a) como procedentes directamente del mar, como es el caso de Mar del Plata (Ruiz Huidobro 1971; Ruiz Huidobro y Tófalo 1979; Sala 1980; Bocanegra *et al.* 1993), Almería (Dominguez y Custodio 1993), California (Nishikawa 1997), China (Chen *et al.* 1997), México (Steinich *et al.* 1998), la región de Gaza (Yakirevich *et al.* 1998), entre otros. En este caso, además de las medidas ya mencionadas (**Medida 22, Medida 23, Medida 24, Medida 25, Medida 28, Medida 29, Medida 33**) se debe, ante todo, diseñar adecuadamente la batería de pozos, y luego monitorear el caudal de extracción, la interfaz agua dulce-agua salada, favorecer la recarga, y aplicar métodos de prevención y control de la intrusión marina (**Medida 26, Medida 27, Medida 34, Medida 38**).

Si las captaciones se establecen sobre masas de agua salada pueden producirse ascensos de sal formándose conos salinos. Dichas masas de agua salada pueden ser la cuña de agua salada en zonas costeras o formaciones geológicas que contienen aguas salobres (las cuales se pueden encontrar muy alejadas de la costa). Las dunas existentes a lo largo de muchas costas (así como los médanos en el interior del continente) son un medio muy permeable, en general bien recargado por la lluvia. Allí se crean lentes de agua dulce limitados por debajo por lentes de arcilla con agua salobre. Estos cuerpos de agua dulce pueden alcanzar dimensiones apreciables para ser explotados, pero de modo similar al caso de los conos salinos, un mal manejo del recurso puede llevar al ascenso

de la interfaz agua dulce- agua salada. Una zona propensa es la costa nororiental de la provincia de Buenos Aires, donde se extiende una franja de dunas que conforman un ambiente acuífero importante (Sala 1982). En todos los casos es fundamental establecer las condiciones de explotación para que el ascenso de sal no afecte las captaciones (**Medida 22, Medida 23, Medida 24, Medida 25, Medida 26, Medida 27, Medida 28, Medida 29, Medida 33, Medida 38**).

En ciertos casos, el descenso en el nivel de agua del acuífero producido por bombeo puede ocasionar la circulación vertical de agua en capas de sedimentos finos. Esta pérdida de humedad en dicho tipo de sedimentos, especialmente las arcillas, resulta en la compactación de las mismas con la consecuente subsidencia del terreno. Uno de los ejemplos más conocidos es el de la ciudad de México (Mexico's City Water Supply 1995) donde en los últimos 100 años la subsidencia ha producido un descenso promedio de 7,5 m, ocasionando deterioros en las estructuras de los edificios, las redes cloacales, y agravando el problema de las inundaciones. La subsidencia también es un problema muy grave en áreas como el valle de Sacramento, el sur de Florida, Pekín, Jakarta y Bangkok. En algunos tipos de agregados no consolidados este fenómeno puede llevar a la consolidación de los mismos y, por lo tanto, a una reducción en la porosidad del acuífero. Debido a estos inconvenientes es necesario contar con estudios previos, realizar un diseño adecuado de la batería de pozos, monitorear los niveles freáticos, estimar el descenso provocado, regular el caudal de extracción y a su vez favorecer la recarga, y efectuar un monitoreo de la subsidencia (**Medida 22, Medida 28, Medida 33, Medida 34, Medida 38, Medida 41**).

Uno de los problemas más graves de la utilización de agua subterránea, cuando no se trata de acuíferos completamente confinados, es su contaminación por la disposición de líquidos cloacales no tratados en pozos de infiltración, cerca de los pozos, o en la zona de recarga. En el caso de que se esté explotando un acuífero semiconfinado y que el acuífero freático se encuentre contaminado, como generalmente ocurre, una mala aislación del pozo en la zona freática puede llevar a la contaminación del recurso. Además, la utilización de materiales de baja calidad o la mala desinfección de las herramientas de perforación, pueden desencadenar problemas de corrosión e incrustación microbiológica (Gariboglio y Smith 1993), con sus consecuencias sobre la calidad química del agua. Estos impactos pueden evitarse haciendo un diseño adecuado de cada perforación y controlando el cumplimiento del mismo en el momento de la construcción mediante inspecciones de obras. Durante la operación, la contaminación puede ser detectada mediante el monitoreo de la calidad del agua captada (**Medida 5, Medida 32, Medida 37**).

Obviamente la calidad de los acuíferos debe estudiarse durante la etapa de planificación (**Medida 1**). Para detectar este problema una vez en marcha el emprendimiento debe mantenerse un sistema de control del agua cruda, o lo que es lo mismo en este caso, un sistema de monitoreo de la calidad del agua subterránea, y elaborarse mapas de vulnerabilidad y riesgo con el fin de identificar las zonas que deben ser protegidas y/o controladas (**Medida 25, Medida 29**).

En sitios sometidos a extracción para varios usos la tendencia de las variaciones de los potenciales hidráulicos producidas artificialmente es declinante. Si la disminución de la reserva es significativa se dice que el acuífero está sobreexplotado, como por ejemplo el caso de la ciudad de La Plata (Auge 1991). Esta sobreexplotación puede resultar en impactos ya mencionados, entre otros, intrusión marina como es el caso de Mar del Plata (Bocanegra et al. 1993), Almería (Domínguez y Custodio 1993); y subsidencia (en México: Mexico's City Water Supply 1995). En casos extremos puede conducir al

agotamiento del recurso con su consiguiente repercusión en el ambiente y los costos económicos que representa buscar una nueva fuente de abastecimiento de agua.

3.2.2.5. Impactos Relacionados con el Aprovechamiento del Agua de Lluvia

El agua de lluvia puede ser utilizada como fuente de abastecimiento siendo almacenada en reservorios que acumulan el agua captada en la superficie de los techos de los predios, o que escurre por el terreno.

Esta fuente se utiliza en zonas de precipitaciones muy altas, o en casos extremos, en regiones en donde se quiere acumular agua de la época de lluvia para la estación de sequía. Su uso, dependiendo de la cantidad y proporción de agua captada en relación a las precipitaciones, puede alterar localmente el balance hídrico al disminuir la recarga en la fuente que alimenta ya sea subterránea (por infiltración) o superficial (por escorrentía).

Si bien el agua de lluvia puede ser una fuente alternativa de abastecimiento para la población, en zonas urbanas el aire puede contener metales y otros contaminantes provenientes de los escapes de los autos y de las industrias que afectan la calidad del aire.

Por otro lado, debe tenerse en cuenta que los lugares por donde escurre el agua no constituyan otra fuente de contaminación (por ejemplo, los techos con pinturas a base de plomo, recubrimientos a base de alquitrán). En algunos casos (por ejemplo, en los techos pintados con pinturas acrílicas) es suficiente descartar las primeras escorrentías, para minimizar el riesgo de contaminación. En las zonas rurales debe tenerse en cuenta además que los techos pueden acumular restos de pesticidas u otros agroquímicos utilizados en áreas cercanas.

Por otra parte, debe contarse con filtros para retener las hojas, polvo, insectos y animales pequeños. Además el agua debe atravesar diversos filtros (por ejemplo, de carbón activado, dispositivos de luz ultravioleta) antes de ser almacenada. Es imprescindible que se analice periódicamente el agua colectada ya que, debido a las razones mencionadas, su ausencia de protección la hace proclive a ser contaminada (**Medida 37**).

En algunos casos, en vez de usar directamente esta fuente, puede resultar de mayor utilidad favorecer la infiltración del agua de lluvia de modo de recargar los acuíferos existentes en la región, siempre y cuando éstos no se encuentren contaminados (**Medida 34**). Esto tiene las ventajas de, por un lado, contar con una unidad de almacenamiento natural y, por otro, un primer tratamiento del agua que se produce al infiltrar, que puede llegar a ser suficiente para su consumo dependiendo de la calidad de agua original.

3.3. IMPACTOS RELACIONADOS CON EL TRATAMIENTO DE AGUA

3.3.1. Impactos Durante la Etapa de Construcción

Durante las obras de construcción de la planta de tratamiento de aguas así como del sistema de distribución, que se describe en la Sección 3.4.1, se pueden generar varios impactos ambientales que, en general, son de carácter temporario. Sin embargo, si son

prevenidos o corregidos adecuadamente, tales impactos no provocan perjuicios permanentes (**Medida 5, Medida 7, Medida 10, Medida 11**).

Muchos de ellos son semejantes a los de cualquier tipo de construcción de una envergadura similar en un área urbanizada, en especial para una obra de infraestructura edilicia como lo es una planta de tratamiento. La intensidad de los impactos sociales disminuye si la misma se construye en un área suburbana o despoblada. Por otra parte, de esta manera, se evita el desalojo de un número grande de pobladores que deben ser reasentados e indemnizados (**Medida 50**). Asimismo debe indemnizarse a los propietarios cuyos terrenos deban ser expropiados para la edificación de la planta (**Medida 51**).

Existen algunos impactos sobre el ambiente tales como la limpieza de la superficie, la remoción de escombros, excavación para fundaciones, la construcción de terraplenes, y la disposición o el transporte de suelo a otras áreas, que son intensos localmente y que deben tenerse en cuenta. El movimiento de tierra durante la nivelación y excavación para las fundaciones de estructuras y para las piletas genera impactos de magnitud considerable, que pueden minimizarse construyendo la planta de tratamiento en una zona escasamente poblada y poco transitada (**Medida 1**).

La instalación de campamentos de obras en el futuro predio de la planta de tratamiento concentra algunos impactos debidos al movimiento de maquinarias y de materiales de construcción, lo cual produce trastornos en el tráfico y la red vial, exposición del suelo a la erosión eólica y pluvial, y la generación de ruidos. Algunos de estos inconvenientes disminuyen adecuando el horario de los obrajes a las actividades de la población, y agilizando el tránsito de vehículos y peatones (**Medida 19**). De la misma manera, el buen estado y la protección adecuada de las maquinarias y camiones transportadores (**Medida 7**) minimizan las molestias temporarias por ruidos y polución del aire por gases de motores y partículas de suelo.

En áreas vegetadas, en donde es necesario desmontar, es conveniente disponer la vegetación extraída junto a los residuos urbanos, evitando quemarla en el lugar. Asimismo, es aconsejable un desmonte por etapas de acuerdo al avance de las obras, y limitado al área estrictamente indispensable, para no exponer el suelo por más tiempo del necesario a la erosión eólica y pluvial. Asimismo, una vez finalizada las obras debe restaurarse la cobertura vegetal (**Medida 15**).

3.3.2. Impactos Durante la Etapa de Operación

3.3.2.1. Deficiencias en el Tratamiento

Esta etapa es crucial para que se cumpla el objetivo fundamental del sistema, que es proveer de agua de buena calidad a la población. Los principales inconvenientes están dados por un tratamiento deficiente o por la posibilidad de contingencias o accidentes que afecten esa calidad o, incluso, impidan el suministro.

El tratamiento del agua puede ser deficiente si no se tiene en cuenta la calidad del agua de captación, la cual debe ser controlada continuamente (**Medida 29, Medida 37**). Durante la etapa de planificación debe hacerse un relevamiento de datos para evaluar el estado del agua que será utilizada (**Medida 22**), dado que la misma puede estar contaminada con sustancias que no se tienen en cuenta en los tratamientos comunes de purificación (como metales pesados, o tóxicos orgánicos). Es conveniente también

estimular la investigación en esta área para ampliar el conocimiento sobre el cuerpo de agua, y realizar un seguimiento sobre las políticas de desarrollo, y un uso integrado de la cuenca a fin de detectar futuras fuentes de contaminación antrópica (**Medida 4, Medida 14, Medida 21**).

En algunos casos la contaminación puede ser de origen natural. Un ejemplo de ello es la contaminación del agua con arsénico, causa del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico. Muchos cuerpos de agua superficiales en la Puna, que abastecen de agua a la población (como el río San Antonio, que brinda agua de consumo a San Antonio de los Cobres), presentan concentraciones de esta sustancia que superan los valores límite (Sastre *et al.* 1997). En el norte de Santiago del Estero, en donde no hay ríos de importancia a excepción del río Salado, la población se abastece con agua subterránea que posee altos tenores de esta sustancia y que, originalmente, no se encuentra en el agua sino en los sedimentos del abanico aluvial del río Salado provenientes de cenizas volcánicas (Martin 1997). También en algunas localidades de la provincia de Santa Fe, como por ejemplo Ceres, un alto porcentaje de la población consume aguas arsenicales (Kleinsorge *et al.* 1997). Este tipo de impactos debe tenerse en cuenta al planificar un sistema de abastecimiento de agua potable y las funciones de la planta de tratamiento (por ejemplo, el arsénico en el agua se reduce a valores muy bajos cuando la misma es tratada con CaOH), así como alentar las investigaciones al respecto (**Medida 1, Medida 14**).

En los casos en que la fuente sea el agua de lluvia, debe tenerse en cuenta que la misma se contamine al estar en contacto con la superficie de escurrimiento por lo que deben preverse compuertas y la posibilidad de descartar la primera escorrentía y, además, que este tipo de agua es de por sí poco digestiva por poseer bajas concentraciones de sales disueltas. Debido a esto su uso puede impactar sobre la salud de la población que la consume si no se realiza un tratamiento adecuado de la misma.

Las deficiencias en el tratamiento del agua cruda pueden estar dadas también por daños en alguna/s de las etapas del proceso (estructuras en mal estado, condiciones inadecuadas de las piletas), por incompetencia o falta de entrenamiento adecuado de los operadores, o por hechos atípicos inevitables o contingencias (cambios imprevisibles en la calidad del agua cruda, desastres naturales, atentados contra las instalaciones).

El efecto en todos los casos es una alteración de la calidad del agua tratada y, por lo tanto, un posible impacto sobre la salud de la población. Mediante la previsión de las posibles contingencias (**Medida 9**) y el control sistemático de los procesos (**Medida 46, Medida 53, Medida 54, Medida 55**) puede disminuirse la probabilidad de ocurrencia de este tipo de impactos, así como su intensidad, duración y/o dificultad de reversión. Además, es imprescindible que la planta de tratamiento cuente con un sistema de vigilancia para impedir el acceso a la misma de personas no autorizadas, y que esté adecuadamente señalizada a fin de evitar accidentes (**Medida 45, Medida 47**).

El tratamiento inadecuado del agua cruda por deficiencias en el control preciso de la dosificación de los productos agregados (en particular, el cloro) también pone en riesgo la salud pública (OPS 1985). El exceso de cloro en el agua de red genera diarreas por destrucción de la flora intestinal, y el déficit no garantiza el control bacteriológico del agua hasta que sea consumida. Debido a ello, es imprescindible la implementación de un sistema de cuantificación exacta de los agregados químicos (**Medida 1**), y la capacitación de los operadores para las tareas cotidianas que exige el tratamiento adecuado y para solucionar las posibles contingencias. De esta manera, además de contratarse personal

técnicamente formado, deben implementarse cursos técnicos y de actualización periódicos (**Medida 44**).

3.3.2.2. Disposición de Lodos y Sólidos

En caso de fuentes de agua superficiales con mucha cantidad de sólidos en suspensión, el volumen de lodos retenidos en la planta de tratamiento puede agravar los problemas regionales en materia de manejo de desechos sólidos o alterar la calidad de los suelos, agua o biota del sitio de su disposición. Para evitar esto, es necesario evaluar la posibilidad de tratamiento previo de los lodos, en particular aquellos con altas concentraciones de sulfato de aluminio, arsénico o hierro. Asimismo, es imprescindible planificar cuidadosamente el destino de los lodos de acuerdo a su volumen estimado (**Medida 1**), para lo cual se deben tener en cuenta los mapas de vulnerabilidad ambiental (**Medida 25**) y análisis de aptitud ambiental (ver el estudio de caso de aplicación de un Sistema de Información Geográfica para evaluar impactos ambientales).

Una alternativa es reutilizar los lodos para, por ejemplo, construcción de ladrillos o relleno de áreas deprimidas (**Medida 48**). Si los lodos provienen de procesos de floculación y, por lo tanto, contienen sulfato de aluminio es necesario tratarlos convenientemente antes de disponerlos en el ambiente. Por otro lado, los sólidos de gran tamaño que se retienen en las rejillas en la toma de agua o entrada a la planta de tratamiento pueden disponerse en un predio habilitado para la disposición de residuos sólidos urbanos (**Medida 43**).

3.4. IMPACTOS RELACIONADOS CON EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE

3.4.1. Impactos Durante la Etapa de Construcción

Las redes poseen algunas características particulares dada su gran extensión con respecto al área urbana en cuestión y la necesidad de realizar excavaciones, ocasionalmente mediante voladuras, a lo largo de ese trayecto. Por tratarse de construcciones en áreas urbanas o suburbanas, los impactos fundamentales están dirigidos a la población residente o a la infraestructura típicamente urbana, como la edificación y los servicios.

La mejor y fundamental manera de minimizar todos estos impactos es realizar una correcta planificación de las obras, detectando los lugares más sensibles y previendo la toma de medidas especiales en esos sitios (**Medida 1**). Durante las construcciones debe verificarse continuamente el diseño de todas las obras (en particular de las trazas de la red y la ubicación de las cañerías) mediante la realización de inspecciones de obra permanentes a cargo del responsable del diseño (**Medida 5**).

Además, se debe instruir y concientizar al personal contratista antes de iniciar las obras fomentando la actitud de revisión, consulta y reporte permanente ante la detección de problemas imprevistos (**Medida 44**). Por ejemplo, en algunas zonas, las excavaciones y los movimientos de maquinaria pueden perturbar la arboleda urbana (raíces y copas, respectivamente), pudiendo provocar la muerte de los individuos. También podrían ocurrir hallazgos arqueológicos o paleontológicos durante la excavación.

De la misma manera, se pueden producir interrupciones en los servicios urbanos (energía eléctrica, gas, agua y teléfono), en algunos casos peligrosos, por rotura de cañerías

durante las excavaciones o de cables aéreos durante movimientos de maquinarias. El plan de contingencias debe incluir estos peligros durante la etapa de construcción (**Medida 9**).

Otro caso es el de las obstrucciones de las obras de drenaje o del escurrimiento superficial natural de las aguas, ya que no sólo se perjudica a la población vecina (inundaciones puntuales) sino también se incrementan los costos de las obras por inundación de zanjas o desmoronamiento de terraplenes temporarios.

Al ejecutarse toda obra de construcción de gran extensión el riesgo de accidentes (de los operarios y de la población vecina) aumenta en forma temporaria. Dado que es necesario efectuar excavaciones en una gran longitud, en ciertas regiones es posible que haya que realizar voladuras. Si se observan los procedimientos estándar de seguridad e higiene en el trabajo (**Medida 7**) estos riesgos serán mínimos. Para evitar accidentes que involucren a la población, es necesario señalizar el área de obra y cercar o proteger las zonas peligrosas (**Medida 11**).

A escala local, las excavaciones, las escombreras y el movimiento de camiones y equipos afectan temporariamente la calidad de vida de la población adyacente a las obras (**Medida 19**). Uno de los mayores problemas es la obstrucción del tránsito y del transporte público debido a las construcciones, así como el efecto barrera ocasionado por excavaciones lineales a lo largo de trechos prolongados. Si bien se trata de efectos inevitables, aunque leves y temporarios, se debe lograr una mayor aceptación de las obras mediante una campaña de difusión previa, informando a los posibles damnificados las características de la obra, los sitios y horarios de realización de los trabajos, y las medidas previstas para minimizar, compensar o monitorear los impactos ambientales (**Medida 6, Medida 13**).

Las molestias sonoras pueden minimizarse adecuando los horarios de construcción y áreas de afectación y minimizando los movimientos de maquinaria pesada (**Medida 5, Medida 19**). Para reducir el impacto visual, se deberá minimizar el establecimiento de grandes estructuras macizas que provoquen un corte visual de la estética y el paisaje urbano (**Medida 1**).

3.4.2. Impactos Durante la Etapa de Operación

Es fundamental para el éxito del sistema fomentar la conexión del mayor número posible de usuarios a la red de distribución de agua potable, para lo cual pueden tomarse ciertos recaudos como prohibir nuevas perforaciones (**Medida 52**) y hacer obligatorio el cierre de los pozos domiciliarios existentes. En el caso de pozos utilizados para riego, si bien pueden mantenerse en operación, es indispensable la colocación de medidores para realizar el cálculo del balance hídrico (**Medida 3**).

Debe resaltarse que la implementación de un plan de atención de reclamos y el registro estadístico de las demandas efectuadas constituye una herramienta importante de sitios conflictivos en el sistema de distribución y el mantenimiento preventivo de la red (**Medida 6**).

Los impactos principales sobre el ambiente y la población generados por diseños inadecuados o falta de mantenimiento de las redes distribuidoras están vinculados a la contaminación del agua potable y, secundariamente, con aquellos provocados por desbordes y/o roturas.

3.4.2.1. Contaminación del Agua Distribuida

Dado que el agua en la red o en los reservorios ya está tratada y se la considera potable, es necesario preservar el interior del sistema aislado del ambiente de forma de evitar toda posible contaminación. Sin embargo, una vez que la red está en operación es probable que se produzcan roturas en las cañerías o pérdidas por las juntas, en particular a medida que pasa el tiempo (en los primeros años la probabilidad de ocurrencia de estos eventos es baja). Una medida para disminuir la probabilidad de ocurrencia de estos inconvenientes es realizar un monitoreo del estado de la red distribuidora y un mantenimiento preventivo de la red (**Medida 53**). Durante todas las inspecciones de la red, tareas de reparación, sustituciones, y prolongamientos, deben ser tomados los cuidados necesarios para impedir la ocurrencia de contaminación.

Cuando el nivel freático se encuentra relativamente cerca de la superficie es importante monitorear su nivel (**Medida 28**). El monitoreo sistemático en distintas zonas sirve para inferir los posibles lugares donde puede haber ingreso de agua freática a la red distribuidora en caso de baja presión en el sistema o cortes en el abastecimiento. En estos sectores es necesario efectuar un monitoreo de la red más intensivo.

También se recomienda llevar un registro sistemático de las presiones en el sistema (**Medida 53**), ya que si éstas son bajas facilitan el ingreso de líquidos contaminantes, además de disminuir la calidad del servicio por la imposibilidad del agua de llenar los tanques domiciliarios elevados (en especial en épocas de alto consumo). Además estas bajas presiones pueden ser indicio de problemas de corrosión e incrustación microbiológica en las cañerías. Por otro lado, las presiones altas facilitan el aumento de las pérdidas.

Otra fuente de contaminación del agua, si bien ya fuera de la red, son los tanques de agua prediales. Para remediar esta fuente de riesgos a la salud se debe instruir adecuadamente a la población sobre la necesidad de su control y limpieza periódicos, incluyendo la desinfección (**Medida 13**).

Debido a la existencia de todas estas fuentes de contaminación es necesario establecer un sistema de control de calidad del agua distribuida que involucre tanto a los reservorios y bocas de registro como a las conexiones domiciliarias (**Medida 54**). De esta manera, se puede detectar la ubicación de la fuente de contaminación y evaluar la calidad del tratamiento y la eficiencia del sistema de distribución.

3.4.2.2. Pérdidas de Agua Potable

Las pérdidas de agua del sistema de distribución pueden ser bastante importantes en sistemas mal mantenidos o defectuosamente diseñados. Las mismas pueden ocurrir en los conductos principales, en los reservorios, bombas, redes de distribución y conexiones domiciliarias. En caso de tratarse de caudales importantes, podría verse afectada la dinámica hidrológica local de determinadas zonas. Por ejemplo, la infiltración de grandes volúmenes podría actuar como una recarga puntual del nivel freático lo cual puede resultar en su ascenso local o en un mayor afloramiento aguas abajo. En este caso deben implementarse medidas relacionadas con el control de fuentes de agua subterráneas (**Medida 23**, **Medida 24**, **Medida 28**). Lo mismo podría ocurrir si se producen derrames en fuentes de agua superficiales. Al tratarse de agua con tenores variables de cloro y de características fisicoquímicas particulares, la flora y fauna

acuáticas sensibles también serán alteradas. Dado que el motivo de estos impactos son las pérdidas o roturas en el sistema de distribución, para evitarlos debe controlarse el estado de la red (**Medida 53**).

El porcentaje de agua no contabilizada (es decir la proporción del agua captada que no llega a registrarse como consumida) puede ser muy importante en sistemas de abastecimiento de agua poco controlados y/o mal mantenidos tanto por pérdidas físicas (fisuras, pérdidas por juntas) como por pérdidas "administrativas" (conexiones ilegales, robo de agua, lectura de consumo incorrecta). En este sentido, un porcentaje bajo de agua no contabilizada, junto con la continuidad del servicio y la calidad del agua distribuida, es uno de los mejores indicadores del éxito del sistema.

La pérdida de agua no sólo representa un perjuicio económico, sino que implica un inaceptable derroche del recurso hídrico y un incremento innecesario de los impactos sobre el ambiente. Es importante entonces integrar los datos provenientes del monitoreo de las obras de captación, de la planta de tratamiento y de la medición del consumo, de manera de controlar periódicamente dicho parámetro (**Medida 18**).

3.4.2.3. Continuidad en el Abastecimiento de Agua Potable

Los tanques de reserva son una herramienta muy importante para asegurar un servicio de distribución adecuado, ya que permiten el abastecimiento de la población durante las tareas de monitoreo, limpieza y reparación de obras de captación y tratamiento, así como en situaciones de contingencias y desastres naturales (**Medida 9**). Es necesario considerar su ubicación, dimensiones y materiales de construcción de manera de atender las variaciones de consumo manteniendo las presiones mínimas relativamente constantes, e incluirlos en las tareas de monitoreo de la red (**Medida 53**).

En caso de que la distribución del agua tratada se realice mediante camiones-tanque, es conveniente efectuar, en forma similar a lo realizado con el agua distribuida a través de la red, muestreos tanto aleatorios como sistemáticos a fin de analizar la calidad del agua transportada (**Medida 37**).

3.5. IMPACTOS RELACIONADOS CON EL MANEJO DE LOS LÍQUIDOS CLOCALES

Los sistemas de abastecimiento de agua potable son considerados ambientalmente aceptables siempre y cuando tengan resuelto o brinden una solución técnica apropiada para el manejo de los líquidos cloacales. Dicho manejo incluye las distintas fases del sistema de saneamiento: red de distribución, tratamiento, y disposición final.

Por lo tanto, para satisfacer las necesidades de protección ambiental vinculadas a los desagües cloacales es preciso ejecutar otro proyecto específico en paralelo al de agua. Si bien el análisis de la problemática ambiental del manejo de los líquidos cloacales excede a este capítulo, se sintetizan en las siguientes Secciones los impactos ambientales que se pueden generar durante las etapas de operación (**Tabla 12**) y de construcción (**Tabla 13**).

3.5.1. Impactos Durante la Etapa de Operación

Impactos ambientales esperados
Recursos Hídricos
1. Alteración de la calidad de aguas subterráneas por infiltraciones o pérdidas desde desagües o cañerías.
2. Alteración de la calidad de aguas subterráneas por infiltración en lagunas y/o reservorios de líquidos cloacales.
3. Alteración de la calidad de aguas subterráneas por derrame ocasional de líquido cloacal tratado con sustancias tóxicas.
4. Alteración de la calidad de agua superficial por descargas clandestinas sobre la red.
5. Alteración de la calidad de agua superficial por conducción y/o manipulación de sustancias tóxicas.
6. Modificación del equilibrio hidrológico de la (micro) cuenca por la ubicación del sitio de descarga (cuerpo receptor).
7. Modificación de la dinámica de aguas subterráneas por la ubicación del sitio de descarga (cuerpo receptor).
8. Alteración en la capacidad de dilución de cursos de agua por la ubicación del sitio de descarga (cuerpo receptor).
9. Alteración en la capacidad de dilución de cursos de agua por descargas clandestinas sobre la red.
10. Alteración en la capacidad de dilución de cursos de agua por operación deficiente de la planta.
Recursos Edáficos
11. Contaminación del suelo por sustancias tóxicas y/o agentes patógenos en efluentes cloacales.
12. Contaminación del suelo por descarga de barros resultantes del tratamiento o provenientes de la red cloacal.
13. Pérdida de productividad de suelos por obstrucciones, desbordes y/o roturas.
14. Pérdida de productividad de suelos por infiltraciones o pérdidas en conducción de compuestos tóxicos.
Recursos Biológicos
15. Pérdida de biodiversidad en el cuerpo receptor por conducción y/o manipulación de sustancias tóxicas y por operación deficiente de la planta
16. Incremento de la eutroficación por descargas clandestinas sobre la red y operación deficiente de la planta.
17. Alteración de las condiciones de habitabilidad de la fauna y/o flora terrestres por la instalación de la Planta Depuradora.
18. Alteración de las condiciones de habitabilidad de la fauna y/o flora acuáticas por descarga de líquidos cloacales (tratados o no).
19. Riesgo de ecotoxicidad de fauna derivado de la descarga de efluentes con metales pesados y/o biocidas.
20. Extinción de especies nativas de alto valor simbólico y/o económico por conducción y/o manipulación de compuestos tóxicos.
21. Modificación de las condiciones de habitabilidad de especies de interés sanitario (por ejemplo, vectores de enfermedades) por la ubicación de la planta y el tipo de tratamiento.
Recursos Agropecuarios y Forestales
22. Contaminación del ganado por sustancias tóxicas y/o agentes patógenos.
23. Modificación del área en producción debido a la instalación de la Planta Depuradora.
Calidad de Vida
24. Aumento del riesgos de salud pública por descargas clandestinas sobre la red.
25. Generación de olores ofensivos por descargas/desbordes y/o tareas y operaciones en el sistema cloacal.
26. Riesgo de salud pública por conducción de compuestos tóxicos
27. Riesgos de salud pública por inundaciones, rebalses y obstrucciones de desagües cloacales.
28. Generación de olores ofensivos por conducción de compuestos tóxicos.
29. Alteración de las condiciones de vida de la población por la ausencia/presencia del servicio de evacuación de líquidos cloacales.
30. Aumento de accidentes de trabajo por el funcionamiento deficiente de los servicios del proyecto.
31. Impactos estéticos y simbólicos percibidos por la comunidad debido a la ausencia (o presencia) de la Planta Depuradora.
32. Alteración del paisaje por la ubicación de la planta.
33. Alteración de zonas de recreación por la ubicación de la planta.
34. Riesgos de salud de los operarios de la Planta Depuradora.
35. Generación de olores ofensivos por mantenimiento operativo insuficiente.
36. Alteración de zonas de recreación por la ubicación del sitio de descarga (cuerpo receptor).
37. Riesgos de salud de los trabajadores rurales en las zonas de descarga de efluentes cloacales tratados.
38. Riesgos de salud para el público en las zonas de descargas de efluentes (tratados o no).
Recursos Múltiples
40. Deficiencia operativa del servicio por contingencia en otros servicios (cortes de energía)
41. Riesgos por deficiencia de mantenimiento, incluido el cese del funcionamiento (contingencias operativas)

Tabla 12. Lista de impactos ambientales que pueden generarse por la operación de un sistema de manejo de líquidos cloacales

3.5.2. Impactos Durante la Etapa de Construcción

Impactos ambientales esperados
<i>Recursos Hídricos</i>
1. Modificación de la escorrentía natural, desvío o interrupción del sentido del drenaje o cursos de agua.
<i>Recursos Edáficos</i>
2. Pérdida de productividad de suelos por excavaciones profundas, manuales, y/o con explosivos.
<i>Recursos Biológicos</i>
3. Perturbación de la arboleda urbana por las obras.
<i>Infraestructura Urbana y Periurbana</i>
4. Deterioro de la infraestructura urbana por las obras.
5. Deterioro del patrimonio edilicio por excavaciones profundas, manuales, y/o con explosivos.
6. Deterioro del patrimonio edilicio por rotura del pavimento con martillo neumático.
7. Deterioro del patrimonio edilicio por movimiento de camiones y equipo.
<i>Patrimonio Cultural y Recursos Turísticos</i>
8. Destrucción de hallazgos arqueológicos durante el emplazamiento de las obras.
<i>Calidad de Vida</i>
12. Generación de ruidos molestos por tareas de construcción.
13. Aumento de ruidos durante la ejecución de excavaciones profundas y/o con explosivos.
14. Aumento de ruidos por rotura del pavimento con martillo neumático.
15. Aumento de ruidos por movimiento de camiones y equipo.
16. Aumento de accidentes de trabajo durante la ejecución de las tareas.
17. Alteración de las condiciones de vida de la población por desvíos e interrupciones del tránsito durante la construcción.
18. Incremento del polvo atmosférico por excavaciones significativas.
19. Incremento del polvo atmosférico por rotura del pavimento con martillo neumático.
20. Incremento del polvo atmosférico por movimiento de camiones y equipo.

Tabla 13. Lista de impactos ambientales que pueden generarse por la construcción de un sistema de manejo de líquidos cloacales

4. MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

4.1. INTRODUCCIÓN

No existe un método único y universal para evaluar impactos ambientales debido a la altísima diversidad de recursos, condiciones e interacciones posibles. Tampoco existen métodos que sirvan para el tratamiento de todas las etapas y tareas de una EIA o que sea apropiado para la evaluación de cualquier tipo de emprendimiento (Dias Moreira 1992). Sin embargo, existen numerosos métodos que pueden utilizarse para distintos objetivos o etapas de evaluación:

- 1). Para identificar los impactos potenciales.
- 2). Para determinar los factores ambientales que deben incluirse en una descripción del medio afectado.
- 3). Para realizar una evaluación sistemática de alternativas (por ejemplo, en los EAP).
- 4). Para predecir los impactos y cuantificarlos.

Dado que no todos tienen la misma utilidad para las diferentes etapas involucradas en el proceso de evaluación ambiental, o para cuantificar los diferentes impactos ambientales, puede ser necesario utilizar diferentes métodos y/o técnicas en cada caso. En este sentido, la selección de los métodos a utilizar podría considerarse como una etapa más en el proceso de evaluación (Canter 1998).

En el proceso de evaluación pueden distinguirse dos etapas conceptuales que comúnmente no se diferencian (Strassert 1992): la cuantificación y la ponderación. La cuantificación de los impactos se define como la medición (o estimación) de los mismos en base a la previsión de los efectos de una acción. Existen diversas técnicas de previsión de impactos que se utilizan para estimar la magnitud de los impactos que producirán las acciones de un proyecto, y para medir las condiciones futuras de factores ambientales específicos (son técnicas de previsión, por ejemplo, los cálculos de balance de masa) (Dias Moreira 1992). La otra etapa conceptual es la ponderación (equivalente al término evaluación en un sentido estricto) de los impactos, es decir el establecimiento de una relación entre las ventajas y las desventajas de un proyecto. En este sentido, y siendo la ponderación una tarea central, en las EIA debe asegurarse la existencia de una base analítica para la comprensión de la interdependencia de las características, y una base teórica apropiada para organizar los procedimientos de ponderación.

4.2. SELECCIÓN DE MÉTODOS

El método o conjunto de métodos a adoptar en una EIA debe comprender los siguientes aspectos (Canter 1998):

- 1). Debe ser adecuado a los objetivos que se debe alcanzar, como la identificación de impactos, su cuantificación, o la comparación de alternativas.
- 2). Debe poseer subjetividad, es decir, ser lo suficientemente independiente de las apreciaciones personales, especialidad o disciplina profesional del evaluador y sus sesgos (los resultados deben poder reproducirse independientemente del grupo evaluador que los obtenga).
- 3). Debe poseer validez, estadística, técnica y/o científica.
- 4). Debe ser económico en término de costos y requerimientos de datos.
- 5). Debe controlar la incertidumbre en cuanto a la variabilidad espacial y temporal.

La elección de métodos debe tener en cuenta también el tipo y magnitud del proyecto propuesto, las alternativas a analizar, los recursos disponibles (información, tiempo, personal, financiamiento) y, fundamentalmente, debe considerar la naturaleza de los impactos a evaluar.

Los factores ambientales susceptibles de ser impactados pueden ser fácilmente cuantificables o no. Algunos pueden cuantificarse de manera directa, como por ejemplo el caudal, el pH, la temperatura y el oxígeno disuelto. En otros casos, cuando la medición directa es muy compleja, económicamente inaccesible, o presenta alta incertidumbre, es necesario utilizar métodos indirectos como, por ejemplo, un indicador.

Los factores no cuantificables (cualitativos) pueden valorarse mediante criterios objetivos de amplia aceptación (por ejemplo, interés de un monumento artístico, de una formación geológica, o de la vegetación y la fauna). En otros casos sólo pueden utilizarse criterios subjetivos como el aspecto visual del agua, sensaciones, u olores.

En la **Tabla 14** se indican las características principales de los cuatro enfoques metodológicos utilizados comúnmente en las EIA, que se describen en las siguientes secciones. Los enfoques difieren en cuanto a:

- 1). Su causalidad, es decir la posibilidad de evaluar los impactos de manera directa o indirecta.
- 2). Si permiten una cuantificación espacial y temporal de los impactos (el grado de cuantificación se define como nulo cuando la metodología sólo permite identificar los impactos, intermedio cuando es semicuantitativa y subjetiva, y alto cuando es cuantitativa, dinámica y predictiva).
- 3). Si permiten una cuantificación de la magnitud de los impactos.
- 4). Si requieren la estimación o existencia de datos primarios, mediante relevamientos de campo o bibliográficos.
- 5). Su utilidad en la selección de alternativas o sitios, es decir el potencial que tiene la metodología de generar la información necesaria para permitirle al evaluador escoger de entre diferentes escenarios el que presenta menos impactos potenciales.
- 6). Si permiten una comparación de recursos global o si sirven sólo para comparar recursos específicos.

Las matrices y listas de control, a pesar de ser una metodología ampliamente utilizada por su simplicidad y muy bajo costo, es la menos indicada para evaluar impactos ya que la asignación de valores a los mismos genera en este caso resultados con un alto grado de subjetividad, baja precisión y realismo limitado. Las matrices proporcionan un enfoque estructurado, y resultan útiles para identificar todos los impactos potenciales claves y factores ambientales pertinentes que deben considerarse en la EIA, y en algunos casos para realizar estudios de tipo amplio (*scoping*).

El otro enfoque indirecto, que involucra el uso de índices, presenta mayor precisión y realismo que las matrices, pero menor generalismo en el sentido de que no permite evaluar todo tipo de recursos.

Las técnicas basadas en Sistemas de Información Geográfica (*Geographic Information Systems* o GIS), si bien permiten cuantificar espacialmente los impactos, no tienen en cuenta la dinámica de los sistemas naturales (a menos que se las aplique en combinación con un modelo matemático), ni permiten una cuantificación de la magnitud de los impactos. Los modelos, por otro lado, si bien representan el funcionamiento de los sistemas, tienen un costo elevado y requieren una gran cantidad de datos (particularmente series temporales largas).

Tanto la metodología GIS como los métodos específicos presentan mayor realismo y precisión que los otros métodos. Sin embargo, no poseen generalismo en el sentido que no sirven para evaluar todo tipo de impactos. Los modelos, en particular, si bien cuando se formulan para situaciones muy particulares no son aplicables en diferentes escenarios.

Enfoque	Características						
	Causalidad	Cuantificación		Datos Primarios	Utilidad en la selección de		Comparación De recursos
		Temporal	Espacial		Alternativas	Sitios	
Matrices y Listas Control	Indirecta	Nula	Nula	No	No	No	Global
Índices	Indirecta	Baja	Nula	Depende	Depende	No	Esp.-Global
GIS	Directa	Baja	Alta	Sí	Sí	Sí	Esp.-Global
Específicos ¹	Directa	Depende	Depende	Sí	Sí	Depende	Específico

¹ Se considera bajo este enfoque a los modelos y métodos desarrollados para evaluar impactos ambientales particulares (impactos hidrogeológicos, ecológicos, paisajísticos, arqueológicos).

Tabla 14. Características principales de los enfoques metodológicos comúnmente utilizados para evaluar impactos ambientales

4.3. LIMITACIONES Y ALCANCES

Dado que muchos de los factores no pueden cuantificarse, o los recursos económicos y logísticos para lograrlo están más allá del alcance y presupuesto del estudio de impacto, la predicción cuantitativa de los impactos es uno de los puntos de mayor conflicto en el

proceso de evaluación. En ciertas ocasiones, sólo se puede obtener una descripción cualitativa de los mismos, en otras, en cambio, y dependiendo del impacto particular, pueden valorarse mediante modelos matemáticos, ensayos de laboratorio, o el uso de índices ambientales realistas. En todos los casos es de suma utilidad la información generada a partir de proyectos implementados con anterioridad en zonas similares, en particular si existen mediciones directas de los impactos generados ya que, muchas veces, la metodología utilizada durante la evaluación es la misma que se utiliza durante la implementación del PMA en la etapa de Operación.

A continuación se presentan los principales métodos utilizados en evaluaciones de impactos ambientales disponibles en la literatura internacional. Es importante aclarar que la lista de métodos indicados en las siguientes secciones no pretende ser exhaustiva, ya que con el avance del conocimiento teórico y científico, día a día se desarrollan nuevas técnicas o se perfeccionan las existentes proveyendo nuevas herramientas para una mejor evaluación de los impactos.

4.4. MÉTODOS INDIRECTOS: LISTAS DE CONTROL Y MATRICES

Las listas control, así como las matrices de interacción constituyen métodos expeditivos de evaluación, cualitativos, preliminares, proporcionando un enfoque estructurado. Las listas de control son simples listados de los factores ambientales que deben ser estudiados para la EIA de un proyecto determinado. Las matrices de impactos, en cambio, consisten en un cuadro de doble entrada en cuyas columnas y filas se disponen las acciones impactantes y los factores del medio susceptibles de recibir impactos. Las listas existentes en la literatura, así como los métodos basados en matrices, constituyen una herramienta muy valiosa para identificar los impactos clave y factores ambientales pertinentes que deben considerarse en la evaluación de impactos (Canter 1998, Fernández Vítora 1997).

4.4.1. *Listas de Control*

Existen numerosas listas de control que han sido realizadas para proyectos específicos, por ejemplo, la lista elaborada por la ESCAP (Economic and Social Commission for Asia and the Pacific 1990) para la construcción de pequeños embalses. Para proyectos de saneamiento pueden consultarse las listas elaboradas por el Banco Mundial (1991), y CoFAPys (1995). En la **Tabla 9** y **Tabla 10** de este Capítulo se mencionan impactos ambientales que pueden generarse en sistemas de abastecimiento de agua potable.

Las listas, si bien son útiles para identificar todos los factores que pueden ser afectados evitando omisiones de impactos relevantes, presentan varias desventajas (Dias Moreira 1992):

- 1). No diferencian impactos directos e indirectos.
- 2). No tienen en cuenta las características temporales ni espaciales de los impactos.
- 3). No analizan las posibles interacciones entre los factores o los impactos ambientales.
- 4). No consideran la dinámica de los factores ambientales.

- 5). No establecen una relación causa-efecto entre las acciones de un proyecto y sus impactos ambientales.

Las listas pueden dividirse en descriptivas y escalares. Estas últimas, a diferencia de las primeras, otorgan valores numéricos a cada factor ambiental permitiendo, una vez determinado el grado de importancia de cada impacto, realizar una ponderación de los mismos.

4.4.1.1. Ejemplo 1: Lista Descriptiva

En la **Tabla 15** se presenta un ejemplo de lista descriptiva elaborada a partir de los lineamientos del CoFAPyS (1995) y el Banco Mundial (1991), y utilizada en un estudio *scoping* para evaluar los impactos ambientales generados por las obras propuestas para abastecer de agua potable a la localidad de Tres Isletas, provincia de Chaco (HYTSA 1998).

En dicho proyecto existían tres alternativas posibles que debían ser evaluadas. Las tareas y obras proyectadas eran:

Alternativa 1: construcción de un acueducto de 20 km para conectar la localidad con el Acueducto Norte y Centro-Oeste Chaqueño, ampliación y restauración de la red existente.

Alternativa 2: realización de 10 perforaciones para el aprovechamiento del agua subterránea, construcción de una cisterna para el tratamiento por ósmosis inversa, y tres perforaciones para inyección de rechazo, ampliación y restauración de la red existente.

Alternativa 3: construcción de una cañería de impulsión de 20 km de longitud desde una fuente superficial (el Zanjón Salto de la Vieja) hasta la planta potabilizadora, ampliación y restauración de la red existente.

4.4.1.2. Ejemplo 2: Listas Escalares

En este caso, el método, que es de por sí cualitativo y subjetivo, puede transformarse en semicuantitativo al adoptarse criterios definidos de evaluación.

Por ejemplo, en la **Tabla 16** se describen algunos criterios adoptados comúnmente para evaluar impactos, y se dan los valores que pueden adoptar las categorías definidas para cada uno de ellos. A partir de estos u otros criterios pueden utilizarse índices, como por ejemplo los que se explican en la Sección 4.5, que permitan asignar un valor a cada impacto.

En este caso, el valor para cada impacto ambiental (IA_i) a partir de los criterios de la **Tabla 16** podría obtenerse como:

$$IA_i = (\text{intensidad} \times \text{probabilidad}) + \text{origen} + \text{reversibilidad} + \text{extensión} + \text{duración}$$

Según esta valoración, el máximo posible para un impacto dado ($IA_{\text{máx.}}$) es aquel donde todas las categorías de cada criterio adoptan el valor más alto, es decir 15 para impactos directos, y 14 o 13 para impactos indirectos de segundo y tercer orden respectivamente.

	Alt1	Alt2	Alt3
Sistema ambiental físico			
Alteración del régimen hidrológico de los cursos de agua superficiales por captación.	X	-	X
Alteración del régimen hidrológico de los cursos de agua subterráneos por captación.	-	X	-
Alteración de la calidad de los suelos y/o aguas por evacuación de los barros provenientes de la Planta Potabilizadora.	-	-	X
Aumento de procesos erosivos y de sedimentación en las riberas donde se ubica la toma de agua.	-	-	X
Sistema ambiental biológico			
Recursos Biológicos			
Perturbación de la arboleda urbana por las obras	X	X	X
Alteración de las condiciones de habitabilidad de la fauna/o flora acuática por instalación de la Planta Potabilizadora.	-	-	X
Alteración de las condiciones de habitabilidad de la fauna/o flora terrestre por instalación de la Planta Potabilizadora.	-	-	X
Sistema ambiental antrópico			
Infraestructura urbana u periurbana			
Deterioro de la infraestructura urbana (asfalto, construcciones) por deterioro en las redes de agua.	X	X	X
Patrimonio cultural y recursos turísticos			
Destrucción de sitios arqueológicos y/o turísticos por el emplazamiento de las obras.	X	X	X
Calidad de vida			
Aumento de accidentes de trabajo por la construcción y el funcionamiento de los servicios del proyecto.	X	X	X
Alteración de las condiciones de vida de la población por ausencia/presencia del servicio de agua potable.	X	X	X
Riesgos para la salud pública por la utilización de fuentes de agua contaminadas.	X	X	X
Generación de ruidos molestos por tareas y operaciones de la Planta Potabilizadora.	-	-	X
Impactos estéticos y simbólicos percibidos por la comunidad debido a la ausencia (o presencia) de la Planta Potabilizadora.	-	-	X
Desarrollo no planificado inducido o facilitado por el nuevo servicio.	X	X	X
Sistema ambiental múltiple			
Deterioro del servicio en caso de contingencias naturales (tornados, inundaciones).	X	X	X
Deficiencia operativa del servicio por contingencias en otro servicio (cortes de energía).	X	X	X
Riesgos por deficiencias de mantenimiento, incluido el cese del funcionamiento.	X	X	X
Riesgos por deficiencias en el agua suministrada.	X	X	X

Las celdas sombreadas indican impactos potenciales que se espera tengan mayor intensidad.

Tabla 15. Identificación de los impactos ambientales potenciales generados por tres alternativas en la construcción de las obras del proyecto de agua potable para la Localidad de Tres Isletas (HYTSA 1998)

Criterio	Descripción	Valor	
		Cualitativo	Cuantitativo
Intensidad	Mide la magnitud del impacto en el sentido del vigor, la fuerza o la profundidad con que se plasma.	Baja Media Alta	1 2 3
Origen	Mide el orden de causalidad del impacto. Los impactos indirectos pueden ser de 2° o 3° orden.	Indirecto 3° Indirecto 2° Directo 1°	1 2 3
Grado de Reversibilidad	Caracteriza la facilidad con que se pueden restablecer las condiciones originales, ya sea naturalmente o por acciones antrópicas tendientes a disminuir el impacto.	Alta Baja Nula	1 2 3
Extensión	Mide el alcance o magnitud espacial del impacto.	Local Regional Global	1 2 3
Duración	Mide el alcance o magnitud temporal directa del impacto.	Temporario Intermedio Permanente	1 2 3

Tabla 16. Ejemplos de criterios adoptados comúnmente para evaluar impactos ambientales

Ponderación

Las ponderación incorpora a las listas escalares el grado de importancia de cada impacto en un contexto global, lo cual permite analizar comparativamente proyectos alternativos. La obtención del impacto global en cada caso facilita la selección de la propuesta que genera menos efectos adversos en etapas de anteproyecto o iniciales de evaluación. Para ello debe ponderarse cada uno de los impactos evaluados de acuerdo a su importancia intrínseca, sin importar el valor que tomen en cada alternativa.

Una manera simple de ponderar los impactos es construir un ránking de importancia (RI), y luego asignarle a cada impacto un valor entre 0 y 1 (valor de importancia del parámetro o VIP) acorde a su posición en el ránking tal como se muestra en el ejemplo hipotético de la **Tabla 17**.

En este ejemplo, hay dos alternativas para la implementación de un sistema de agua potable, que difieren básicamente en el tipo de fuente de agua (la Alternativa 1 involucra una fuente superficial, y la Alternativa 2 una de agua subterránea).

En este caso el valor de impacto ambiental global (IAG) puede obtenerse mediante la fórmula:

$$IAG = \sum VIP_i \times IA_i / \sum VIP_i$$

La Alternativa 1 es la que más impacto genera sobre el medio ya que su IAG es superior al de la Alternativa 2. Esto también puede aplicarse para comparar una situación actual con un escenario futuro.

	Alt1	Alt2	RI	VIP	Alt1 _p	Alt2 _p
<i>Sistema ambiental físico</i>						
Alteración del régimen hidrológico de los cursos de agua superficiales por captación.	12	0	1	1	12	0
Alteración del régimen hidrológico de los cursos de agua subterráneos por captación.	0	13	2	0,9	0	11,7
Aumento de procesos erosivos y de sedimentación en las riberas donde se ubica la toma de agua.	8	0	6	0,5	4	0
<i>Sistema ambiental biológico</i>						
<i>Recursos Biológicos</i>						
Perturbación de la arboleda urbana por las obras	7	7	9	0,2	1,4	1,4
Alteración de las condiciones de habitabilidad de la fauna/o flora por instalación de la Planta Potabilizadora.	6	6	5	0,6	3,6	3,6
<i>Sistema ambiental antrópico</i>						
<i>Infraestructura Urbana u Periurbana</i>						
Deterioro de la infraestructura urbana (asfalto, construcciones) por deterioro en las redes de agua.	5	5	10	0,1	0,5	0,5
<i>Patrimonio Cultural y Recursos Turísticos</i>						
Destrucción de sitios arqueológicos y/o turísticos por el emplazamiento de las obras.	9	0	8	0,3	2,7	0
<i>Calidad de vida</i>						
Aumento de accidentes de trabajo por la construcción y el funcionamiento de los servicios del proyecto.	11	11	4	0,7	7,7	7,7
Riesgos para la salud pública por la utilización de fuentes de agua contaminadas.	12	10	3	0,8	9,6	8
Desarrollo no planificado inducido o facilitado por el nuevo servicio.	11	11	7	0,4	4,4	4,4
<i>Impacto Ambiental Global</i>					9	6,8

Tabla 17. Ejemplo hipotético de ponderación de impactos ambientales potenciales generados por dos alternativas posibles en la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable

Otra forma en la que se pueden ponderar los impactos es identificando los aspectos principales afectados (por ejemplo: salud humana, actividades económicas, cuerpos de agua, fauna y flora, calidad de vida humana) y sobre cuáles de ellos tiene influencia cada impacto.

En la **Tabla 18** se da como ejemplo una valoración implementada en un estudio para evaluar los impactos ambientales generados por el proyecto de optimización de los servicios de agua potable y cloacal de la Ciudad de Río Segundo (Córdoba) (HYTSA 1998). En dicho estudio se consideraron 5 aspectos fundamentales afectados: salud humana, actividades económicas, cuerpos de agua, fauna y flora, y calidad de vida humana. En este caso el VIP para cada impacto ambiental potencial se calcula mediante la sumatoria de los valores correspondientes a cada aspecto afectado por dicho impacto.

Es importante aclarar que tanto la valoración como los aspectos considerados pueden variar dependiendo del proyecto a implementarse, por lo cual los evaluadores deben seleccionar los aspectos a considerar y determinar su escala de valoración en cada caso particular.

Aspectos afectados	Tipo de influencia		
	Directa	Indirecta	Nula
Salud humana	5	2,5	0
Actividades económicas	4	2	0
Cuerpos de agua	3	1,5	0
Fauna y flora	2	1	0
Calidad de vida humana	1	0,5	0

Tabla 18. Ejemplo de valoración de los aspectos afectados por los impactos ambientales potenciales utilizada para calcular los VIP en la EIA del proyecto de optimización de los servicios de agua potable y cloacales de la localidad de Río Segundo (HYTSA 1998)

4.4.2. Matrices

Las matrices de interacción son listas control bidimensionales en las que se disponen los factores y las acciones de manera que cada celda de intersección representa la relación causa-efecto que genera el impacto. Las desventajas de estos métodos son similares a las de las listas de control (Dias Moreira 1992):

- 1). No identifican impactos indirectos,
- 2). No consideran las características espaciales de los impactos,
- 3). presentan una alta subjetividad en la atribución de las magnitudes de los impactos,
- 4). No consideran la dinámica de los sistemas ambientales.

Al igual que en el caso de las listas de control, el mecanismo para cuantificar y ponderar los impactos puede ser totalmente subjetivo, o a través de indicadores o índices semicuantitativos o cuantitativos que pueden obtenerse de diferentes maneras, como se explica en la Sección 4.5.

4.4.2.1. Matriz de Leopold

El primer método utilizado en las EIA y el más conocido, la matriz de Leopold (Leopold *et al.* 1971), consiste en una tabla de doble entrada en la que se disponen como filas los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones del proyecto que pueden generar los posibles impactos.

En la **Tabla 19** se presenta una matriz modificada para proyectos de saneamiento que se obtuvo a partir de la matriz clásica de Leopold que, originalmente, fija como número de posibles acciones 100, y 88 factores ambientales. A diferencia también de la matriz de Leopold, en este caso se disponen los factores como columnas y las acciones como filas.

Para efectuar la evaluación, cada celda de interacción se divide en diagonal: en la parte superior se hace constar la magnitud del impacto en una escala de 1 a 10 (asignando de manera subjetiva 1 a la alteración mínima y 10 a la máxima) precedida del signo + o – según el impacto sea positivo o negativo. En el triángulo inferior se da un valor a la importancia, definida como la intensidad o grado de incidencia del impacto también en

escala 1 a 10. La sumatoria algebraica de los productos de los valores de la magnitud e importancia por filas indica la incidencia del conjunto de las acciones sobre cada factor ambiental, mientras que la suma por columnas da una valoración relativa del efecto que cada acción producirá sobre el medio.

<div>FORMATO DE LAS CELDAS</div> <div><div><div>M_{ij}</div><div></div></div></div> <div>M= Magnitud, I= Intensidad</div>	EFECTOS SOBRE EL AMBIENTE (ver abajo nomenclatyrta de abreviaciones)																										Σ M _{ij} x I _{ij} = efecto de cada acción (i) en los factores j
	Abiótico								Biológico				Socioeconómico														
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	
ACCIONES de cada SISTEMA																											
Potabilización de Aguas Crudas																											
Obras de Captación en la Fuente																											
Caudal de Captación																											
Ubicación de la Planta Potabilizadora																											
Manejo inadecuado de sust. Químicas																											
Deficiencias en el control de calidad																											
Disposición final de barros																											
Red de Distribución de Agua Potable																											
Falta de presión																											
Riesgo de contaminación bacteriana																											
Interrupción del servicio																											
Infiltraciones y/o pérdidas																											
Mantenimiento operativo insuficiente																											
Redes de Desagües Cloacal																											
Obstrucciones, desbordes y/o roturas																											
Descargas clandestinas sobre la red																											
Conexión con red pluvial																											
Conducción de compuestos tóxicos																											
Mantenimiento operativo insuficiente																											
Construcción de Redes (etapa en ejecución)																											
Excavación manual																											
Excavaciones con explosivos																											
Excavaciones profundas																											
Rotura pavimto c/martillo neumático																											
Interrupción de vías de tránsito público																											
Movimiento de camiones y equipo																											
Tratamiento de Líquidos Cloacales																											
Ubicación de la planta																											
Ubicación del emisario (cpo. Receptor)																											
Excavaciones y movimiento de suelos																											
Operación deficiente de la planta																											
Roturas/pérdidas/desbordes																											
Manipulación de sustancias tóxicas																											
Riesgo de accidentes de los operarios																											
Mantenimiento operativo insuficiente																											
Deficiencias del sistema de seguridad																											
Σ M _{ij} x I _{ij} = efecto de las diferentes acciones (i) sobre cada factor (j)																											

- | | |
|--|---|
| a. deterioro de la calidad del agua | o. aumento de accidentes durante las construcciones |
| b. modificación de la dinámica de aguas subterráneas | p. cambios del riesgo para la salud de los operarios |
| c. alteración del equilibrio hidrológico de la cuenca | q. cambios del riesgo para la salud pública |
| d. alteración capacidad de dilución de cursos de agua | r. generación de olores ofensivos |
| e. cambio de la productividad agropecuaria por reuso de efluentes cloacales (tratados) | s. incremento de polvo atmosférico |
| f. pérdida de productividad de suelos | t. aumento de ruidos durante la ejecución de las obras |
| g. aumento de la erodabilidad de suelos | u. alteración del paisaje |
| h. alteración del equilibrio hidrológico de la cuenca | v. alteración de estilos de vida |
| i. pérdida de biodiversidad en el cuerpo receptor | w. alteración de zonas de recreación |
| j. incremento de la eutroficación | x. facilitación del desarrollo no planificado |
| k. modificación de la habitabilidad para especies acuáticas claves | y. deterioro del patrimonio edilicio |
| l. extinción de especies nativas de alto valor simbólico y/o económico | z. destrucción accidental de sitios arqueológicos |
| m. extirpación de arboleda urbana | aa. interrupción o modificación de servicios turísticos |
| n. modificación de la habitabilidad para especies acuáticas de interés sanitario | |

Tabla 19. Matriz de Leopold modificada para proyectos de saneamiento

4.4.2.2. Método de Fisher-Davies

El Método de Fisher & Davies (1973) utiliza una matriz de interacción para el análisis de impactos ambientales como parte de un abordaje mas amplio que incluye (Dias Moreira 1992):

- La identificación de las actividades propuestas e inducidas por un proyecto.
- La identificación de los elementos ambientales más importantes que serán más afectados por dichas actividades.
- La evaluación de la calidad de los elementos ya sea antes o después de la ejecución de las actividades.
- La gestión de los impactos ambientales.

El método consta de tres etapas ejecutadas por un equipo multidisciplinario:

1). Evaluación de la Situación de Referencia o Preoperacional.

Para estudiar las condiciones ambientales iniciales del área que va a ser afectada se prepara un cuadro tal como el que se presenta en la **Tabla 20**. Esta contiene una lista de los elementos ambientales más importantes y su clasificación (en una escala de 1 a 5) en cuanto a su importancia, sus características antes de la ejecución del proyecto, y las necesidades de manejo y gestión en términos de costos del mantenimiento o recuperación de la calidad inicial.

Identificación de elementos ambientales	Evaluación									
	Importancia					Condición especial				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	Baja			Alta		Baja			Alta	
Biológicos										
Flora										
Fauna										
Relaciones ecológicas										
Físico-químicas										
Atmósfera										
Agua										
Suelo										
Culturales										
Habitación										
Comunidades										
Economía										
Comunicaciones										
Vínculos bioculturales										
Recursos										
Recreación										
Conservación										

Tabla 20. Tabla para la evaluación de las condiciones ambientales iniciales según el Método de Fisher & Davies (1973)

2). Construcción de una Matriz de Compatibilidad Ambiental

Relaciona los elementos considerados importantes en la fase precedente y las acciones derivadas del proyecto. Cada casilla de interacción se califica con valores de 1 (magnitud baja) a 5 (magnitud alta) precedidos de un signo + o – según el impacto sea positivo o negativo, seguidos de la letra S para los impactos de corta duración, y de la letra L para los de larga duración. En caso de existir alternativas, debe construirse esta matriz para cada una de ellas.

3). Preparación de una Matriz de Decisión

De manera tal de reagrupar los valores atribuidos a los elementos importantes en las diversas alternativas.

4.5. MÉTODOS INDIRECTOS: INDICES

4.5.1. Introducción

Un índice ambiental representa una clasificación descriptiva de una gran cantidad de datos que se expresa mediante un número, y cuyo propósito principal es simplificar y estandarizar la información. Los índices constituyen un instrumento importante en la descripción del medio en que se sitúa el proyecto propuesto. A su vez, pueden facilitar la búsqueda y la síntesis de datos, colaborar en la comunicación de la información ambiental previa, y proporcionar una base estructurada para la predicción y evaluación de impactos. Los índices ambientales son de utilidad en tanto cumplan con los siguientes objetivos (Canter 1998):

- 1). Resumir datos ambientales existentes,
- 2). Comunicar información sobre la calidad del medio afectado,
- 3). Evaluar la vulnerabilidad o susceptibilidad a la contaminación, daño o deterioro de una determinada condición ambiental,
- 4). Centrarse selectivamente en los factores ambientales claves,
- 5). Servir como base para la expresión del impacto al predecir las diferencias entre el valor del índice con proyecto y el valor del mismo índice sin proyecto.

Para la elaboración de índices no sólo debe tenerse en cuenta la sensibilidad de las variables involucradas en el cálculo al efecto producido por la acción antrópica, sino que debe evitarse también la interdependencia entre las mismas, es decir el uso de variables que reflejan el mismo aspecto de la realidad que se quiere evaluar. La valoración puede ser cualitativa, semicuantitativa o cuantitativa, y la escala de valoración no tiene por qué ser la misma para diferentes índices. En este sentido, al relacionarlos o utilizarlos comparativamente deben expresarse en una escala compatible.

4.5.2. Aplicación en EIAs Para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable

En la **Tabla 21** se da un listado de los impactos explicados en la Sección 3 que pueden ser evaluados y/o monitoreados mediante el uso de índices, tal como se explica y ejemplifica en las siguientes secciones.

En primer lugar se describe el Método Battelle Columbus (Battelle 1972) que desarrolló por primera vez una serie de 72 Índices de Calidad Ambiental, y se dan dos ejemplos de índices elaborados por otros autores basados en el mismo principio. En segunda instancia, y dado que existen numerosos índices que pueden utilizarse para valorar los impactos sobre el medio, o sobre alguno de sus factores, en la Sección 4.5.3 se dan ejemplos de índices que, si bien han sido elaborados para proyectos concretos, resultan válidos para otros proyectos similares a los que dieron origen al índice en cuestión.

Impactos
5. Alteración de las comunidades acuáticas por ingreso de sólidos en suspensión.
9. Perturbación de flora y fauna terrestre por excavaciones y/o voladuras.
10. Impacto sobre la calidad del agua debido a una mala ubicación de las captaciones.
13. Impacto sobre la calidad del agua por disposición de lodos o desechos industriales.
14. Riesgo para la salud pública por contaminación del agua cruda.
15. Peligro para el público que circula por la zona de captación y/o utiliza el cuerpo de agua.
16. Impactos indirectos por la presencia de la nueva infraestructura (incendios, tala no autorizada, generación de microbasurales).
26. Contaminación a través del acuífero.
27. Cambios en la dinámica de nutrientes de los cuerpos de agua.
28. Modificación de la calidad del agua para la vida acuática.
31. Disminución de la capacidad de autodepuración.
44. Riesgo por contaminación de los acuíferos con líquidos cloacales.
45. Impacto sobre la calidad del agua debido a la mala aislación del pozo de abastecimiento.
57. Riesgos para la salud pública por contaminación del agua cruda en la planta.
58. Riesgos para la salud pública por deficiencias en alguna/s de las/s etapas/s del proceso de potabilización.
60. Riesgos para la salud pública por mala cuantificación de los compuestos químicos agregados al agua.
63. Discontinuidad en el servicio por interrupción del funcionamiento de la planta de tratamiento.
65. Alteración de la calidad de los suelos, agua y biota por disposición de lodos y sólidos.
73. Riesgos para la salud pública por contaminación del agua en la red debido al mal estado de las cañerías.
74. Riesgos para la salud pública por contaminación debido al ingreso de agua freática o contaminantes a causa de presiones bajas en la red.
75. Riesgos para la salud pública por contaminación del agua en los tanques prediales.
78. Perturbación de flora y fauna acuática debido al contacto con agua tratada.
79. Inconvenientes e impactos estéticos sobre el vecindario por rotura o pérdida en la red de distribución.
80. Desaprovechamiento del recurso hídrico debido a porcentajes altos de agua no contabilizada.
81. Riesgos para la salud pública por discontinuidad en el abastecimiento de agua potable.

Tabla 21. Lista de impactos ambientales explicados en la Sección 3 (Tabla 9) que pueden ser evaluados mediante el uso de índices

4.5.3. Índices de Calidad Ambiental (ICAs)

4.5.3.1. Método Battelle Columbus (Battelle Environmental Evaluation System 1972)

El Método Battelle Columbus (*Environmental Evaluation System* o EES) fue desarrollado por profesionales de dicho laboratorio para la evaluación de proyectos que involucran la utilización de recursos hídricos (Battelle 1972). El método divide al sistema ambiental a ser afectado en 4 categorías, las categorías en 18 componentes y éstos en 78

parámetros específicos tal como se indica en la **Tabla 22**. Los niveles van en orden creciente en cuanto a la información que aportan, constituyendo el nivel 3 (los parámetros) la clave del sistema de evaluación.

El primer paso para la aplicación de este método es la transformación de los valores de cada parámetro en índices de calidad ambiental. Esta transformación requiere la definición de una función distinta para cada indicador de impacto, que permita obtener el índice de calidad ambiental de un factor en función del impacto recibido.

Categoría	Componente		Parámetro
Ecología (240)	Especies y poblaciones (140)	Terrestres	Pastizales y praderas (14) Cosechas (14) Vegetación natural (14) Especies dañinas (14) Aves de caza continentales (14)
		Acuáticas	Pesquerías comerciales (14) Vegetación natural (14) Especies dañinas (14) Aves acuáticas (14) Pesca deportiva (14)
	Hábitats y comunidades (100)	Terrestres	Cadenas alimentarias (12) Uso del suelo (12) Especies raras y en peligro (12) Diversidad de especies (14)
		Acuáticas	Cadenas alimentarias (12) Especies raras y en peligro (12) Características fluviales (12) Diversidad de especies (14)
	Ecosistemas		Sólo descriptivo
Contaminación Ambiental (402)	Contaminación del agua (318)		Pérdidas en las cuencas hidrográficas (20) DBO (25) Oxígeno disuelto (31) Coliformes fecales (18) Carbono inorgánico (22) Nitrógeno inorgánico (25) Fosfato inorgánico (28) Plaguicidas (16) pH (18) Variaciones de flujo de la corriente (28) Temperatura (28) Sólidos disueltos totales (25) Sustancias tóxicas (14) Turbidez (20)
	Contaminación atmosférica (52)		Monóxido de carbono (5) Hidrocarburos (5) Óxidos de nitrógeno (10) Partículas sólidas (12) Oxidantes fotoquímicos (5) Óxidos de azufre (10) Otros (5)
	Contaminación del suelo (28)		Uso del suelo (14) Erosión (14)
	Contaminación por ruido (4)		Ruido (4)

Categoría	Componente	Parámetro
Aspectos estéticos (153)	Suelo (32)	Material geológico superficial (6) Relieve y caracteres topográficos (16) Extensión y alineaciones (10)
	Aire (5)	Olor y visibilidad (3) Sonidos (2)
	Agua (52)	Presencia de agua (10) Interfase agua-tierra (16) Olor y materiales flotantes (6) Área de la superficie de agua (10) Márgenes arboladas (10)
	Biota (24)	Animales domésticos (5) Animales silvestres (5) Diversidad de tipos de vegetación (9) Variedad de tipos de vegetación (5)
	Objetos artesanales (10)	Objetos artesanales (10)
	Paisaje (30)	Efectos de composición (15) Elementos singulares (15)
Aspectos de Interés humano (205)	Valores educativos y científicos (48)	Arqueológico (13) Ecológico (13) Geológico (11) Hidrológico (11)
	Valores históricos (55)	Arquitectura y estilos (11) Acontecimientos (11) Personajes (11) Religiones y culturas (11) Fronteras (11)
	Culturas (28)	Indígenas (14) Otros grupos étnicos (7) Grupos religiosos (7)
	Sensaciones (37)	Admiración (11) Aislamiento (11) Misterio (4) Integración con la naturaleza (11)
	Estilos de vida (37)	Oportunidades de empleo (13) Vivienda (13) Interacciones sociales (11)

Entre paréntesis se incluyen las unidades de importancia (PIU) asignadas a los parámetros, componentes y categorías.

Tabla 22. Parámetros ambientales del Sistema de Evaluación Ambiental de Battelle Columbus (Battelle 1972)

La función de transformación expresa la relación para cada factor ambiental entre su magnitud en unidades inconmensurables y la calidad ambiental que por convención varía entre 0 (extremo más desfavorable) y 1 (extremo de calidad óptima). En las **Figura 5**, **Figura 6**, y **Figura 7** se muestran las funciones de calidad ambiental correspondientes a los parámetros oxígeno disuelto, DBO y coliformes fecales respectivamente.

Los factores ambientales positivos, cuya presencia mejora la calidad del medio, presentan funciones directas, con pendiente positiva (calidad del aire, calidad del agua, flora y fauna, paisaje, empleo). Los negativos presentan funciones inversas, con pendientes negativas (nivel de ruido, olores desagradables, erosión).

De esta manera, los ICAs expresan una relación empírica entre mediciones objetivas de una variable cuantitativa, elegida como representativa de una condición ambiental relevante, y estimaciones subjetivas de la calidad que dicha variable representa en un determinado contexto ambiental. La asignación de los valores de calidad ambiental se realiza en base a criterios legales o propuestos por organismos nacionales o internacionales (como por ejemplo, los niveles guía para agua de consumo humano).

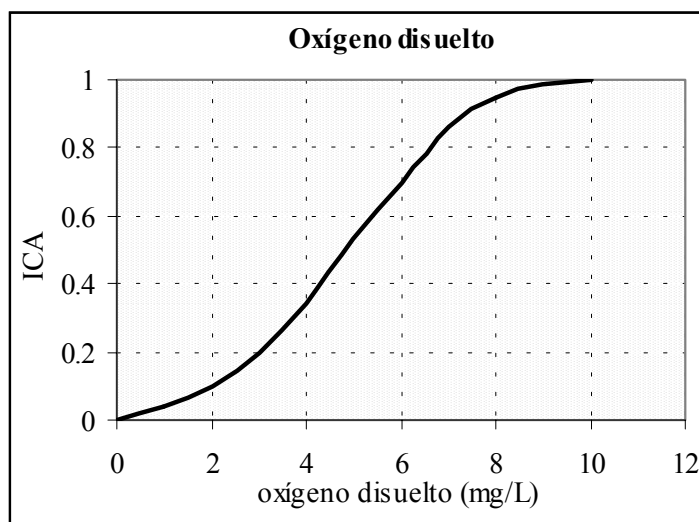


Figura 5. ICA según el oxígeno disuelto en un cuerpo de agua hipotético (Fuente: Batelle 1972)

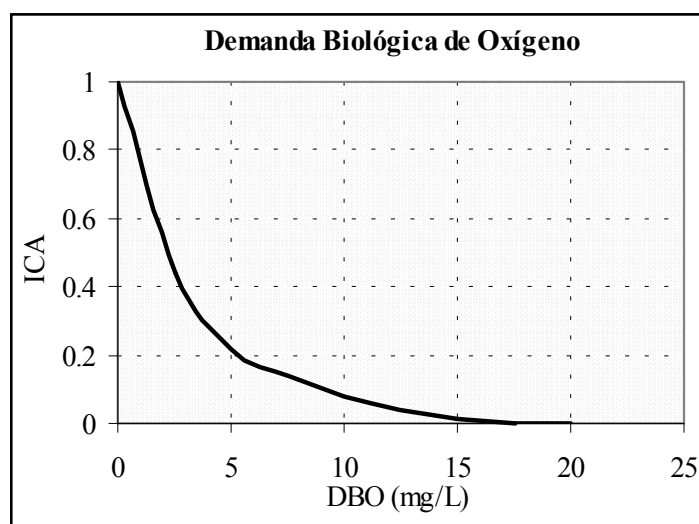


Figura 6. ICA según la demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en un curso hipotético (Fuente: Batelle 1972)

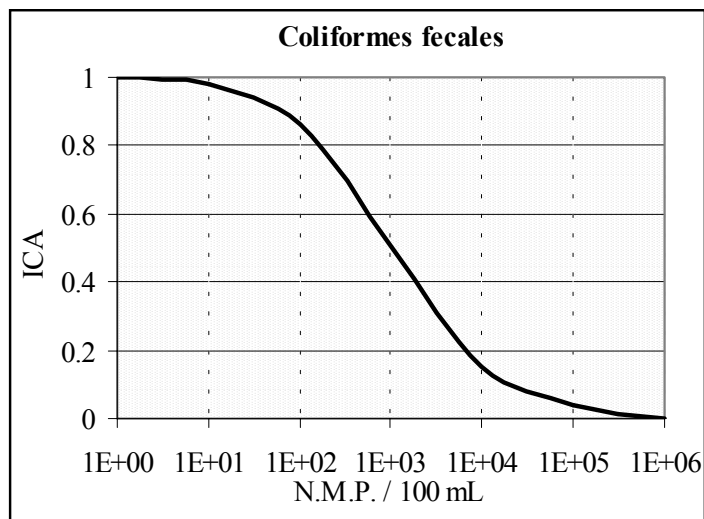


Figura 7. ICA según la concentración de coliformes fecales en un curso hipotético (Fuente: Batelle 1972)

El método requiere que un grupo de especialistas construya una función para cada parámetro, registrándose los ICAs observados antes de la ejecución del proyecto y sus valores estimados bajo las acciones previstas. Las estimaciones pueden realizarse mediante análisis estadísticos, modelos matemáticos o cualquier otra técnica adecuada (Dias Moreira 1992).

Para atribuir el grado de importancia a cada parámetro el método propone la distribución de un total de 1000 puntos (llamados Unidades de Importancia o PIU) entre los 73 parámetros ambientales tal como se indica en la **Tabla 22**.

Finalmente, para obtener los valores de cada impacto ambiental deben multiplicarse los valores de los ICA por las unidades de importancia de cada parámetro. La diferencia entre los valores "con proyecto" y "sin proyecto" se expresa en unidades de impacto ambiental (EIU). El método propone que cuando se detecta un impacto negativo que afecta un parámetro ambientalmente crítico o frágil, dicho impacto debe ser evaluado en mayor detalle.

En la **Tabla 23** se sintetiza mediante un ejemplo hipotético los pasos a seguir para realizar una EIA mediante el método Battelle.

Las principales ventajas de la utilización de los ICAs residen en que permiten:

- 1). Comparar parámetros, recursos y condiciones ambientales muy diferentes entre sí (agua, suelo, flora, calidad de vida).
- 2). Valorar cambios en la calidad de un mismo recurso en diferentes momentos (por ejemplo, antes y después de la ejecución de un proyecto).
- 3). Estimar diferencias espaciales en la calidad ambiental (por ejemplo, aguas abajo y arriba de la captación de agua en un curso).
- 4). Comparar diferentes alternativas.

- 5). Identificar los parámetros que se deben monitorear durante cualquiera de las etapas del proyecto, especialmente durante la operación del servicio de abastecimiento de agua potable.

Por otro lado, el principal inconveniente que presenta la aplicación de este método es la necesidad de conocer las funciones de transformación para los parámetros que se quiere evaluar, ya que las mismas pueden variar de un sistema a otro.

Parámetros	Puntos (PIU)	C/Proyecto (EIU)	S/Proyecto (EIU)	Impactos (EIU)
ECOLOGÍA				
Especies y población				
Pasturas	14	14	14	0
Cosechas	14	9,24	8,12	+1,12
Pesca deportiva	14	5,74	4,9	+0,84
Hábitats y comunidades				
Características del río	12	6,72	8,52	-1,8
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL				
Contaminación del agua				
DBO	25	18	21,25	-3,25
Oxígeno disuelto	31	29,45	31	-1,55
PH	18	7,2	9	-1,8
Temperatura	28	4,2	8,4	-4,2
Sólidos disueltos totales	25	14,5	15	-0,5
ESTÉTICA				
Suelo				
Material de superficie	6	1,5	1,86	-0,36
Relieve y topografía	16	4,32	5,6	-1,28
Paisaje				
Efectos de composición	15	7,65	8,25	-0,6
Elementos singulares	15	0,9	2,85	-1,95
VALORES SOCIALES				
Educacionales / científicos				
Ecológicos	13	7,54	6,37	+1,17
Geológicos	11	2,75	3,52	-0,77
Hidrológicos	11	2,2	1,10	+0,77

Tabla 23. Ejemplo hipotético de los pasos a seguir para evaluar los impactos mediante el método Battelle (EES)

4.5.3.2. Otros Índices de Calidad Ambiental

El EES tuvo amplia divulgación, y ha sido adaptado para numerosos casos. Canter & Hill (1979) realizaron una revisión de diversos métodos utilizados por distintos autores para evaluar impactos ambientales, a partir de la cual seleccionaron 62 variables de 189 registradas, que agruparon en 4 categorías (Terrestre, Acuática, Atmosférica, Humana) y 15 subcategorías, considerando 31 variables para evaluaciones relacionadas con cuerpos de agua. La selección se efectuó teniendo en cuenta:

- 1). La importancia general de las variables.
- 2). Los impactos de proyectos relacionados con los recursos hídricos.

3). La información necesaria en cada caso para evaluar y predecir los impactos.

A continuación se dan dos ejemplos de índices que fueron contruidos utilizando el principio del Método Battelle (1972).

Ejemplo 1: Índice de Calidad del Agua

Una manera sencilla y práctica de estimar la calidad del agua, consiste en la definición y elaboración de índices de las medidas de ciertos parámetros físicos, químicos y biológicos en la situación operativa, referenciados con otra situación a la que se considera deseable o admisible, definida por ciertos estándares o criterios.

Los parámetros más frecuentemente admitidos y utilizados en este caso son la DBO, los sólidos disueltos y en suspensión, los compuestos de nitrógeno, fósforo, azufre, de cloro, el pH, la dureza, la turbidez, la conductividad, y los elementos tóxicos o patógenos. Los más utilizados para abastecimiento de agua potable son la dureza, la turbidez, los sólidos disueltos, y las concentraciones de tóxicos y bacterias coliformes (Fernández Vitora 1997).

Dado que los parámetros tienen diferentes unidades, no se pueden cuantificar resultados globales, tales como el impacto total sobre un componente ambiental, sobre un subsistema o sistema, o el impacto total sobre el medio que genera la actividad en su conjunto. Para ello es necesario transformar los valores, referir todas las magnitudes de los efectos a una unidad de medida común.

Esta transformación requiere la definición de una función distinta para cada indicador de impacto, que permita obtener el índice de calidad ambiental de un factor en función del impacto recibido. La función de transformación expresa la relación para cada factor ambiental entre su magnitud en unidades inconmensurables y la calidad ambiental que por convención varía entre 0 (extremo más desfavorable) y 1 (extremo de calidad óptima).

Para determinar la relación entre la calidad del agua y la calidad ambiental deben incorporarse los valores individuales de una serie de parámetros tales como el oxígeno disuelto, la conductividad, y la concentración de coliformes, entre otros. Dicha función responde a la fórmula (Martínez de Bascarón 1979):

$$ICA = k \sum C_i P_i / \sum P_i$$

En donde C_i es el valor porcentual asignado a los parámetros, P_i el peso asignado a cada parámetro, y k una constante que puede tomar los siguientes valores:

- 1 para aguas claras sin aparente contaminación,
- 0,75 para aguas con ligero color, espumas, ligera turbidez aparente no natural,
- 0,5 para aguas con apariencia de estar contaminada y fuerte olor,
- 0,25 para aguas negras que presentan fermentaciones y olores.

En la **Tabla 24** pueden observarse los valores de algunos parámetros considerados para calcular el índice de calidad del agua, y sus valores respectivos de calidad ambiental. En algunos casos, cuando el indicador no es cuantificable, debe recurrirse a otros parámetros en términos de los cuales pueda realizarse la medición, tales como

sensaciones lo menos subjetivas posibles, o mediciones cualitativas (agradable, desagradable, frecuente, ocasional, fuerte, moderado).

	pH	O ₂ disuelto Mg/l	Coliformes Nº/100 ml	Temperatura °C	Aspecto	DBO Mg/l	Valoración %
Valor Analítico	1-14	0	>14.000	>50 >-8	Pésimo	>15	0
	2-13	1	10.000	45 -6	Muy malo	12	10
	3-12	2	7.000	40 -4	Malo	10	20
	4-11	3	5.000	36 -2	Desagradable	8	30
	5-10	3,5	4.000	32 0	Impropio	6	40
	6-9,5	4	3.000	30 5	Normal	5	50
	6,5	5	2.000	28 10	Aceptable	4	60
	9	6	1.500	26 12	Agradable	3	70
	8,5	6,5	1.000	24 14	Bueno	2	80
	8	7	500	22 15	Muy bueno	1	90
	7	7,5	<50	21 a 16	Excelente	<0,5	100

Tabla 24. Ejemplos de parámetros ambientales utilizados comúnmente para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (Fuente: adaptado de Fernández Vítora 1997)

Ejemplo 2: Pérdida de la Cobertura Vegetal

En la **Figura 8** se observa la función de transformación correspondiente a la variable “pérdida de cobertura vegetal” (Fernández Vítora 1997). La misma se basa en la singularidad de las especies presentes (calidad o rareza) y densidad (porcentaje de la superficie total considerada). En este caso se toma como indicador de impacto el porcentaje de superficie cubierta (PSC) ponderado en función del índice de interés de las especies existentes, según la fórmula:

$$PSC = 100/S_t \sum S_i \times k$$

En donde S_t es la superficie total considerada, S_i a superficie cubierta por cada especie o tipo de vegetación presente, y k una constante que puede adoptar los siguientes valores:

- 1 para endemismos,
- 0,8 para especies raras,
- 0,6 para especies poco comunes,
- 0,4 para especies frecuentes,
- 0,2 para especies comunes, y
- 0,1 para especies muy comunes.

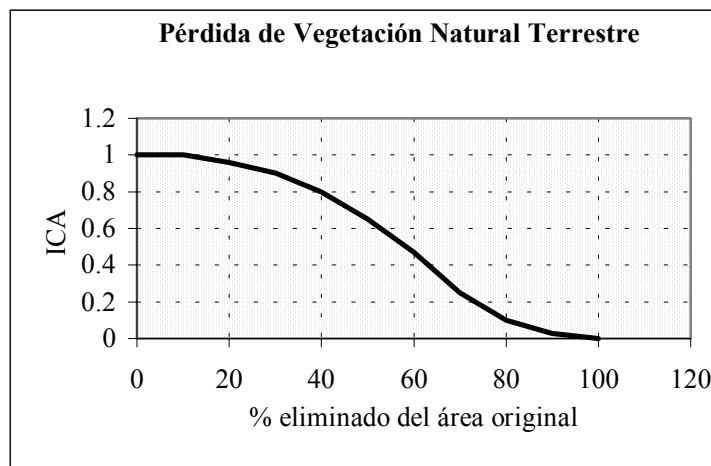


Figura 8. ICA según la pérdida de vegetación natural terrestre. (Fuente: Fernández Vitora 1997)

4.5.4. Otros Índices

Como se dijo anteriormente existen numerosos índices que se utilizan para valorar impactos ambientales. A continuación se dan ejemplos de índices que han sido elaborados para proyectos concretos, pero que pueden adaptarse en otros casos en los que se deba realizar una EIA de sistemas de abastecimiento de agua potable.

4.5.4.1. Ejemplo 1: Índice de Impacto Ambiental Potencial (IAP)

Se presenta como ejemplo el índice de Impacto Ambiental Potencial (IAP) utilizado en la EIA del Proyecto de Estudios y Diseños del Sistema Cloacal del Gran San Juan para evaluar la construcción de dos Subsistemas colectores (Colector Chimbas-Colector Norte, y Colectores Rawson-Sur Externo) (HYTSA 1998). Algunas variables y criterios de categorización que se presentan pueden adoptarse en EIAs de proyectos de construcción de redes de distribución de agua potable.

El IAP se construyó a partir de la interacción de dos componentes:

- 1). La sensibilidad ambiental dada por características abióticas, bióticas y culturales o antrópicas (expresada mediante un Índice de Sensibilidad Ambiental o ISA), y
- 2). Las obras y características de las construcciones dadas por el diseño del proyecto particular (caracterizadas mediante un Índice de Diseño del Proyecto o IDP).

Si ambos componentes son independientes dicha interacción es multiplicativa, con lo cual el IAP puede calcularse según:

$$IAP = ISA \cdot IDP$$

Cálculo del Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA)

La sensibilidad ambiental puede estimarse cuantitativamente por medio del índice ISA (Índice de Sensibilidad Ambiental), a partir de la categorización de variables ambientales indicadoras. Siempre que se realice una categorización deben explicitarse los criterios utilizados en la misma.

En la **Tabla 25** se dan como ejemplo las variables y los criterios adoptados para su categorización y valoración que fueron utilizados para evaluar los impactos ambientales de los Subsistemas Colector Chimbaz-Colector Norte, y Colectores Rawson-Sur Externo (HYTSA, 1998).

[illegible]

Variable	Criterios de categorización y valoración
8 – Uso del Suelo	De acuerdo a la susceptibilidad de los distintos tipos de uso a los efectos de las obras del proyecto 0.9- C ₂ (central: 900 hab/ha); 0.4- R ₅ (residencial: 77 hab/ha) uso vial 0.3- I1e (Industrial); API (Área de Prot. Indust) 0.7- C ₃ (central: 180 hab/ha) 0.2- Re ₂ y Re ₃ (Áreas de reserva) 0.6- R ₃ (residencial: 180 hab/ha) 0.1- AR (Área Rural) 0.5- R ₄ (residencial: 112 hab/ha)
9 – Equipamiento	De acuerdo a la sensibilidad de las distintas unidades de equipamiento a los impactos causados por las obras (construcción, limpieza y reparación), en particular a los ruidos, cortes en la circulación y desbordes. En los casos de más de varias unidades de equipamiento afectadas en un mismo tramo, se tomó el de mayor sensibilidad y se sumó 0.1 a su sensibilidad por cada unidad adicional potencialmente afectada. 1- Estación de servicio; 0.4- Industrias Estación/ Terminal de transporte 0.3- Policía; Gobierno y administración; 0.9- Puesto sanitario Universidades 0.8- Comercio; Escuela primaria 0.2- Iglesia; Registro Civil 0.7- Escuela secundaria
10 – Flujo de Transporte	De acuerdo al número de líneas de autotransporte y la frecuencia diaria de las mismas. Una mayor densidad del flujo de transporte normal implica mayores impactos por cortes en la circulación durante la construcción, reparación o desbordes. 1- Alta 0.3- Baja 0.6- Media 0.1- Ocasional/Nulo
11 – Interferencias con Otros Servicios	Las interferencias generan mayores riesgos de accidentes o interrupciones de los servicios afectados, tanto durante la operación como durante las tareas de reparación. También se tuvo en cuenta el impacto sobre el servicio interceptado en el caso de un funcionamiento defectuoso del servicio cloacal (desbordes, infiltración). En el caso del agua potable se consideró la presencia de conductos distribuidores en la misma calle que el colector a construir, aunque no se superpusieran o cortaran estrictamente (por eso la sensibilidad es menor). En los casos donde más de un servicio era interferido por el tramo, se tomó el valor de sensibilidad mayor. 1- Canal de riego 0.6- Desagüe pluvial 0.9- Gas 0.5- Agua potable 0.8- Media tensión 0.4- Teléfono 0.7- Baja tensión 0.1- Cloacas
12 – Tipo de Superficie a excavar	De acuerdo a la dificultad de la excavación y al tipo de efectos que las obras generan (sonido, material removido, reparación) 1- Pavimento 0.3- Tierra 0.7- Vereda

Tabla 25. Variables y criterios adoptados para el cálculo del ISA en la evaluación de impactos ambientales generados por la construcción de los colectores en el sistema cloacal del Gran San Juan (HYTSA 1998)

El ISA ponderado según la importancia relativa de cada variable se calcula entonces según la ecuación:

$$ISA = \sum ISA_i \cdot VIP$$

En donde ISA_i equivale a los valores individuales que toman las diferentes variables, y VIP al valor de importancia relativa del parámetro.

En el caso de los Colectores Cloacales, para establecer los VIP se asignó el máximo valor (1) a la variable considerada más importante y al resto se le asignó un valor en base a aquel. De esta forma, los valores del ISA variaron entre 0 y 1, reflejando una

sensibilidad ambiental nula y máxima respectivamente. En la **Tabla 26** se muestran los VIP para las variables de la **Tabla 25**.

Parámetro	Dependiente de	VIP
Densidad poblacional en el tramo	Uso del Suelo	1.00
Profundidad de la napa		0.90
Flujo de transporte		0.90
Equipamiento		0.80
Tipo de superficie a excavar		0.80
Riesgo sísmico	Depósitos superficiales	0.70
Interferencias con otros servicios		0.70
Uso del suelo	Densidad poblacional	0.60
Riesgo de contaminación del agua subterránea	Profundidad de la napa	0.50
Pendiente del terreno		0.50
Suelos	Depósitos superficiales	0.40
Depósitos superficiales	Suelos	0.20

Tabla 26. Valores de Importancia del Parámetro (VIP) de las variables utilizadas en el cálculo del ISA para evaluar los impactos ambientales generados por la construcción de los colectores en el sistema cloacal del Gran San Juan (HYTSA 1998)

Índice de Diseño del Proyecto (IDP)

Para calcular el IDP se promediaron las siguientes características de los tramos de los dos colectores cloacales: longitud, pendiente del caño, caudal acumulado, velocidad de conducción, profundidad de excavación, riesgo ante bajo y alto uso. Dichas variables y los criterios para su categorización y valoración se presentan en la **Tabla 27**.

En forma análoga al ISA, el IDP se calcula mediante la fórmula:

$$IDP = \sum IDP_i \cdot VIP$$

En donde IDP_i equivale a los valores individuales que toman las diferentes variables, y VIP al valor de importancia relativa del parámetro. En la **Tabla 28** se muestran los VIP correspondientes a las variables de **Tabla 27** utilizados para calcular el IDP.

El IDP varía entonces entre 0 y 1 reflejando una probabilidad o riesgo de generar impactos ambientales nula (en ausencia de obra) y máxima (en donde todos los factores individuales presentan las características más riesgosas posibles) respectivamente.

Variable	Criterios de categorización y valoración	
1- Longitud del Tramo	Una mayor longitud de diseño del tramo implica mayores dificultades para revisar, reparar y sustituir la cañería 1- > 200 m 0.8- 160 a 200 m 0.6- 120 a 160 m 0.4- 80 a 120 m 0.2- 40 a 80 m 0- < 40 m	
2 - Pendiente del Caño	Una mayor pendiente implica (para un mismo caudal) menor probabilidad de acumulaciones y/u obstrucciones, pero una mayor velocidad de conducción, con el consiguiente aumento de la capacidad de erosión (efecto menor dado el material de las cañerías). 1- < 0.04 %; > 1.25 % 0.8- 0.04 a 0.07 %; 0.85 a 1.25 % 0.6- 0.07 a 0.10 %; 0.55 a 0.85 % 0.4- 0.10 a 0.15 %; 0.35 a 0.55 % 0.2- 0.15 a 0.20 %; 0.25 a 0.35 % 0- 0.20 a 0.25 %	
3 - Caudal Acumulado	Un mayor caudal acumulado (año 20 del proyecto) genera impactos más graves en caso de obstrucciones o desbordes. También implica una mayor población afectada aguas arriba en caso de desperfectos que impidan el uso o la correcta evacuación de los desagües cloacales. 1- > 500 L/s 0.8- 300 a 500 L/s 0.6- 200 a 300 L/s 0.4- 100 a 200 L/s 0.2- 50 a 100 L/s 0- < 50 L/s	
4 - Velocidad de Conducción	Velocidades de conducción (año 20) mayores evitan la sedimentación y acumulación por lo que disminuyen la probabilidad de obstrucciones, así como la generación de compuestos como el ácido sulfúrico. Por otro lado, incrementan la erosión (efecto menor dado el material de las cañerías). 1- < 0.75 m/s; > 3.00 m/s 0.8- 0.75 a 0.95 m/s; 2.50 a 3.00 m/s 0.6- 0.95 a 1.10 m/s; 2.25 a 2.50 m/s 0.4- 1.10 a 1.25 m/s; 2.00 a 2.25 m/s 0.2- 1.25 a 1.50 m/s; 1.75 a 2.00 m/s 0- 1.50 a 1.75 m/s	
5 - Profundidad de Excavación	La profundidad de excavación fue calculada como la máxima de las tapadas (de entrada o de salida) más el diámetro comercial adoptado de la cañería, más 15 cm. (doble espesor del caño). Una mayor profundidad de excavación implica mayor cantidad de tierra removida, así como mayor dificultad durante la construcción o ante reparaciones. A bajas profundidades, sin embargo, pueden presentarse problemas dados por el tránsito vehicular. 1- < 0.5 m; > 5 m 0.8- 0.5 a 1 m; 4 a 5 m 0.6- 1 a 1.5 m; 3.5 a 4 m 0.4- 1.5 a 1.75 m; 3.0 a 3.5 m 0.2- 1.75 a 2.0 m; 2.5 a 3.0 m 0- 2.0 a 2.5 m	
6 - Riesgo ante Bajo Uso	Cociente entre la pendiente del tramo y la pendiente mínima de autolimpieza. Un valor mayor de este cociente significa una menor probabilidad de sedimentación y obstrucciones durante períodos de bajo caudal (bajo uso, sequías). 1- < 1 0.8- 1 a 1.5 0.6- 1.5 a 2.5 0.4- 2.5 a 4 0.2- 4 a 6 0- > 6	
7 - Riesgo ante Alto Uso	Cociente entre el diámetro de cañería adoptado y el diámetro de cálculo (mínimo diámetro para que la relación entre el tirante de líquido y el diámetro no alcance el valor 0.9 para el caudal horario máximo de diseño en el año 20). Un valor más grande implica una menor sensibilidad a desbordes durante acontecimientos no previstos de alto uso, obstrucciones parciales o inundaciones. 1- < 1 0.8- 1.0 a 1.1 0.6- 1.1 a 1.2 0.4- 1.2 a 1.3 0.2- 1.3 a 1.5 0- > 1.5	

Tabla 27. Variables y criterios adoptados para calcular el IDP en la evaluación de impactos ambientales generados por la construcción de los colectores en el sistema cloacal del Gran San Juan (HYTSA 1998)

Parámetro	Dependiente de	VIP
Riesgo ante Alto Uso		1.00
Riesgo ante Bajo Uso		1.00
Profundidad de Excavación		0.90
Longitud del Tramo		0.80
Caudal Acumulado	Velocidad de conducción; pendiente	0.70
Pendiente del Caño	Caudal; velocidad de conducción	0.40
Velocidad de Conducción	Caudal acumulado; pendiente	0.20

Tabla 28. Valores de Importancia del Parámetro (VIP) de las variables utilizadas en el cálculo del ISA para evaluar los impactos ambientales generados por la construcción de los colectores en el sistema cloacal del Gran San Juan (HYTSA 1998)

4.5.4.2. Ejemplo 2: Indices Para Evaluar Metas de Calidad del Servicio

A continuación se presentan dos casos de EIAs en las que se utilizaron índices e indicadores para evaluar el cumplimiento de metas de calidad en los servicios de saneamiento de las provincias de Catamarca (Caso 1) y Corrientes (Caso 2). Los índices elaborados para estos proyectos pueden ser utilizados en casos similares, en los que se requiere una evaluación de impactos ambientales “actuales”.

Caso 1: Evaluación de Impacto Ambiental de los Servicios de Saneamiento de la Provincia de Catamarca (HYTSA 1996)

Los objetivos de la EIA de los Servicios de Saneamiento de la Provincia de Catamarca (HYTSA 1996) eran:

- Evaluar los impactos ambientales generados tanto por la oferta como por el déficit de los servicios de agua potable y desagües cloacales, y
- Jerarquizar los Departamentos de la Provincia según indicadores globales de impacto ambiental.

En primera instancia se categorizó, mediante 17 variables semicuantitativas, la información de los servicios de agua potable y desagües cloacales obtenida a partir de los datos disponibles en los diagnósticos ambiental y de infraestructura de los servicios, de la bibliografía, y de consultas a informantes calificados con vasta experiencia operativa en los servicios. En la **Tabla 29** se presentan las variables empleadas en la evaluación del sistema de abastecimiento de agua potable y los criterios de categorización y valoración en cada caso.

A partir de los valores de cada variable considerada se confeccionó un indicador de Impacto Ambiental Global (IAG), según la ecuación:

$$IAG = [\sum I_i]$$

donde I_i = valor individual de cada indicador ambiental_i. Estos valores varían entre 1 y 10 según los criterios explicitados en la **Tabla 29**.

Variable	Criterios de categorización y valoración
1- Fuente de Agua Primaria	Se define en función del porcentaje de abastecimiento de agua potable a la población. Categorización en base al tipo de fuente, relación caudal/consumo, riesgo de contaminación, necesidad de potabilización, conflicto por otros usos antrópicos, e importancia relativa en el ecosistema local. Se presentan cinco ejemplos de valoración: 1- subterránea, caudal suficiente, no recibe aportes contaminantes 3- superficial, oferta hídrica adecuada, leve modificación del régimen 5- subterránea, conflicto por uso para riego, zona de recarga amenazada 7- superficial, uso agrícola en la cuenca, déficit estacional, uso en minería 9- superficial, uso agrícola en la cuenca, descargas cloacales aguas arriba, déficit estacional, conflicto por riego, sería modificación del hábitat nat.
2- Fuente de Agua Secundaria	Códigos Idem Variable 1.
Sistema de Potabilización	
3- Planta Potabilizadora 1	Según el grado de equipamiento y estado se la categorizó en: 1- completa y en buen estado de funcionamiento/mantenimiento, 3- completa y en mal estado de funcionamiento/mantenimiento, 5- parcial (por ejemplo, sólo filtros lentos) y en buen estado de func./mantenimiento, 7- parcial y en mal estado de funcionamiento/mantenimiento, 9- muy incompleta y en mal estado de funcionamiento/mantenimiento, (entre paréntesis se indica el porcentaje %- de agua tratada sobre el total producido en la localidad/área de estudio):
4- ... Planta 2	Códigos Idem Planta 1
5- ... Planta 3	Códigos Idem Planta 1
Red de Distribución de Agua	
6- Antigüedad	Se categorizó y valoró de la siguiente manera: 1- < 1 año de vida 3- 1-10 años de vida 5- 11-20 años de vida 7- 21-50 años de vida 9- > 50 años de vida 10- no hay red (se aclara cuando existen diferencias en antigüedad de la red indicando entre paréntesis el porcentaje de distribución de cada sector)
7- Mantenimiento	La valoración corresponde a la frecuencia de las tareas de mantenimiento preventivo/operativo: 1- semanal 2- quincenal 3- mensual 4- bimensual 5- trimestral 6- cuatrimestral 7- semestral 8- anual 9- sin frecuencia 10- sin mantenimiento (ausencia de red)
8- Cobertura	La valoración corresponde al porcentaje de cobertura del servicio. Este indicador varía entre 1 (100% de cobertura; excelente servicio) y 10 (0%; déficit total de la prestación).
Calidad del Agua para Consumo	
9- Calidad Físico-Química	La valoración corresponde a la cantidad de parámetros que más comprometen la potabilidad de acuerdo a los análisis fisicoquímicos disponibles. Este indicador varía entre 1 (ningún parámetro problemático; excelente calidad) y 10 (> 8 parámetros problemáticos; pésima calidad).
10- Calidad Bacteriológica	La valoración corresponde al porcentaje de muestras que resultaron contaminadas con bacterias coliformes. Este indicador varía entre 1 (0%; excelente calidad) y 10 (100%; agua de consumo contaminada).
11- Control de Calidad	La valoración corresponde a la relación entre el número de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados (N° observado) y el N° mínimo esperado según las recomendaciones del CoFES y la EPA. Este indicador varía entre 1 (relación ≥ 1 ; excelente control de calidad) y 10 (relación ≤ 0 ; pésimo control de calidad). Se ponderó la importancia relativa de los parámetros por su riesgo sanitario implícito: 80% a los bacteriológicos, 20% a FQ.

Tabla 29. Criterios de categorización y valoración para las variables utilizadas para evaluar los impactos ambientales existentes en el sistema de agua potable de la Provincia de Catamarca (HYTSA 1996)

Para calcular los indicadores se realizó un agrupamiento de algunas variables: las dos de fuente de agua se resumieron en una sola, así como las tres referidas a las plantas potabilizadoras. Por lo tanto el total de variables se redujo de las 17 originales (6 de las cuales pertenecen al sistema cloacal y no se muestran en la **Tabla 29**) a 14. De esta manera, el IAG podía variar entre los valores:

- 14 (impacto nulo; óptima calidad de los servicios; $I_1 = I_2 = \dots = I_{14} = 1$), y
- 140 (máximo impacto; pésima calidad de los servicios; $I_1 = I_2 = \dots = I_{14} = 10$)

Este valor de IAG fue analizado también teniendo en cuenta el número de habitantes de cada Departamento. Para ello se ponderó el valor del indicador obtenido por el logaritmo natural del número de habitantes del Departamento (se utilizó una ponderación logarítmica ya que las diferencias en los números poblacionales entre Departamentos eran muy grandes).

Por otro lado se calculó un Indicador Parcial de Impacto Ambiental (IAP) como el resultado de la sumatoria de un conjunto de variables que expresan en forma agregada una característica ambiental particular, según la ecuación:

$$IAP = [\sum I_n]$$

donde I_n es el valor de impacto de cada parámetro de ese grupo.

Se construyó un indicador parcial de Agua Potable con las variables 3 a 11 de la **Tabla 29**:

- 1). Sistema de potabilización (agrupando las variables 3, 4 y 5 de Plantas Potabilizadoras).
- 2). Red de distribución de agua: Antigüedad, Mantenimiento y Cobertura.
- 3). Calidad del Agua para el consumo: Calidad Físico-Química, Calidad Bacteriológica, y Control de Calidad.

Además se construyeron otros dos indicadores parciales: de Recursos Naturales (teniendo en cuenta las variables 1 y 2 referidas a la fuente de agua) y de Desagües cloacales.

Los IAP se ponderaron teniendo en cuenta el número de parámetros involucrados y su importancia relativa a fin de comparar datos entre Departamentos para uno o un conjunto de parámetros.

En base a los valores de los Indicadores de Impacto (global, ponderado por población y parciales) se ordenó a los Departamentos de forma de establecer prioridades de atención (desde 1, máxima prioridad; mayor valor del indicador; peor situación) hasta 14 (mínima prioridad; menor valor del indicador; mejor situación). A su vez, en base a la ordenación realizada se confeccionaron mapas en donde se identificaron los Departamentos de la Provincia de Catamarca de acuerdo a la prioridad de atención según cada uno de los indicadores.

Caso 2: Evaluación del grado de cumplimiento de las metas de calidad del agua y control de la contaminación en la Provincia de Corrientes (HYTSA 1998)

La evaluación del grado de cumplimiento de las metas de calidad del agua y control de la contaminación en la Provincia de Corrientes (HYTSA 1998) tenía como objetivo evaluar si la concesión del servicio de agua potable y desagües cloacales, realizado en Corrientes en 1991, había propiciado cambios en la calidad ambiental del servicio, es decir en la salud pública y en los recursos naturales involucrados.

Para ello se evaluó el grado de cumplimiento de las metas de calidad del agua potable y de control de la contaminación caracterizando analíticamente las implicancias ambientales de las actividades del servicio concesionado (Aguas de Corrientes S.A.) y del servicio público (Ente Regulador - AOSC).

Las metas y normas de calidad establecidas por los Pliegos de Concesión y la Resolución 75/96 de acuerdo al tiempo transcurrido desde el momento de la concesión, contemplaban las siguientes variables:

- 1). Número mínimo de conexiones de agua y cloacas (por localidad),
- 2). Porcentaje mínimo de reducción de la tarifa (agua y cloacas),
- 3). Cantidad de conexiones con medidor de consumo,
- 4). Presión mínima en cualquier punto de la red,
- 5). Porcentaje de colocación de hidrantes,
- 6). Cantidad máxima de cortes en el servicio,
- 7). Características microbiológicas del agua de bebida,
- 8). Características fisicoquímicas del agua de bebida distribuida (por localidad),
- 9). Plazos en el cumplimiento de ciertas características fisicoquímicas del efluente cloacal (esto es, plazo para la instalación y funcionamiento de plantas de tratamiento de efluentes cloacales).

Para poder evaluar comparativamente entre localidades la calidad ambiental actual y su evolución respecto a la condición anterior (pre-concesión) se adaptó la metodología basada en Índices de Calidad Ambiental (ICA), explicada en la Sección 4.5.3. Para ello se utilizaron evaluaciones parciales expresadas como ICAs a partir de:

- 1). Variables semicuantitativas provenientes de información general y encuestas a informantes clave,
- 2). Índices que estiman calidad ambiental a partir de datos técnicos de los servicios de agua potable y desagües cloacales,
- 3). Índices de calidad ambiental propiamente dichos (Battelle 1972, Canter & Hill 1979).

A partir de la información disponible se calcularon una serie de índices para cada localidad. En la **Tabla 30** se presentan los índices utilizados para evaluar el cumplimiento de las metas de calidad en el sistema de abastecimiento de agua potable.

Índice	Cálculo ¹
Índice de caudal relativo	Caudal captado en estiaje/caudal de la fuente en estiaje
Índice de eficiencia de uso	Volumen registrado/volumen captado x conexiones con medidor
Índice de eventos en la red	Roturas y pérdidas mensuales/longitud de la red
Índice de control de calidad del agua	N° de análisis efectuados/N° de análisis esperados
Índice de control de la eficiencia del tratamiento	Sumatoria de variables indicadoras/número de variables consideradas
Índice de sanciones recibidas	1 – sumatoria de la cantidad de sanciones recibidas en cada localidad / km de redes de servicio
Índice de eventos en las conexiones	$\{[(\text{roturas/pérdidas mensuales en las conexiones}) / \text{número de conexiones}] + [(\text{roturas/pérdidas mensuales en los medidores}) / \text{número de medidores}]\} \times 1000$

¹ (explicación en el texto)

Tabla 30. Índices utilizados para evaluar el grado de cumplimiento de las metas de calidad del agua y control de la contaminación en la Provincia de Corrientes (HYTSA 1998)

El índice de caudal relativo relaciona el caudal captado para consumo como agua de bebida con el caudal de la fuente de agua en estiaje. Un valor mayor de este índice implica un impacto más importante sobre el cuerpo de agua utilizado por la modificación de su dinámica hidrológica. También infiere la existencia de impactos indirectos sobre los otros usos (naturales y antrópicos) del recurso.

El índice de eficiencia de uso tiene en cuenta la proporción de pérdidas del agua captada de la fuente, tanto por deficiencias de la red como por usos internos y problemas en la medición del agua potable utilizada por los consumidores. Esto incluye problemas en el registro por medidores defectuosos y conexiones clandestinas. Este índice es un cociente entre el agua efectivamente registrada como consumo y el volumen de agua captada de la fuente de agua. Se tuvo en cuenta la proporción de medidores colocados ya que la deficiencia de medidores tiene como consecuencia la imposibilidad de registrar un consumo verdadero. Un valor mayor de este índice implica un uso más eficiente del recurso extraído. Un valor bajo denota la presencia de pérdidas en la red o deficiencias en el sistema de registro del consumo final, y de impactos evitables sobre la fuente de agua por el uso innecesario del recurso.

El índice de eventos en la red es el cociente entre el número de reclamos registrados mensualmente por roturas o pérdidas en la red de distribución de agua potable y la longitud de la misma. Un valor alto de este índice significa que el estado del sistema de distribución es deficiente.

El índice de control de la calidad del agua corresponde a la relación entre el número de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos realizados y el número mínimo esperado según las recomendaciones del CoFES (1993), basados a su vez en los lineamientos de la EPA. Este indicador varía entre 1 (relación ≥ 1 ; excelente control de calidad) y 10 (relación ≤ 0 ; pésimo control de calidad). Debe ponderarse la importancia relativa de los parámetros por su riesgo sanitario implícito: 80% en el caso de los bacteriológicos, y 20% para los físico-químicos.

El índice de control de la eficiencia del tratamiento relaciona todas las medidas que se deberían tomar para controlar y monitorear la eficiencia del tratamiento. Se calcula realizando la sumatoria de los valores individuales que toman las variables indicadoras de control de la eficiencia del tratamiento (**Tabla 31**) dividido la cantidad de variables consideradas. Estos valores varían entre 0 y 1 y reflejan máximos y mínimos riesgos de generar impactos ambientales respectivamente.

Variable	Valoración
Sistematicidad de los muestreos.	0: no; 1: sí
Frecuencia del muestreo.	0: sin frec.; 1: frec. diaria
Proporción de parámetros físico-químicos evaluados respecto a los exigidos (n parámetros).	0: ninguno (0/n); 1: todos (n/n)
Evaluación de parámetros bacteriológicos.	0: no; 1: sí
Proporción de otros grupos de parámetros evaluados (por ejemplo, metales pesados, fenoles) respecto de los exigidos (n parámetros).	0: ninguno (0/n); 1: todos (n/n)
Adecuabilidad de la ubicación de los sitios de muestreo según lo exigido (n sitios).	0: no adecuados (0/n); 1: adecuados (n/n)
Periodicidad de la fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad del monitoreo	0: no hay fiscalización; 0.5: aperiódica; 1: sí, semanal

Tabla 31. Criterios de categorización y asignación de valores a las variables del índice de control de la eficiencia del tratamiento de potabilización

El Índice de Eventos en las Conexiones de la red relaciona el número de reclamos registrados mensualmente por roturas o pérdidas en las conexiones y medidores de agua con el número de conexiones y medidores colocados. El número de reclamos se tomó como el promedio entre los meses mayo, junio y julio de 1997. Un valor más alto de este índice significa una peor condición del sistema de distribución, en este caso en sus terminales y sistema de conexiones.

El Índice indicador de Sanciones Recibidas, relaciona la calidad ambiental con el grado de implementación efectiva de las actividades de gestión ambiental, en este caso sanciones recibidas. Se consideraron además otras tres actividades para calcular otros índices de gestión ambiental:

- 1). Nivel de capacitación del personal y eficiencia de la coordinación interna.
- 2). Elaboración efectiva de Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIAs).
- 3). Grado de atención del cliente.

Los indicadores de gestión ambiental varían entre 1 (gestión ambiental excelente, por ejemplo ninguna sanción recibida) y 0 (gestión pésima o inexistente, por ejemplo alta incidencia de sanciones).

Los criterios de categorización y valoración de las variables semicuantitativas, así como la relación entre los índices calculados y los ICA se detallan en la **Tabla 32**.

Variable	Criterios de categorización y valoración
A. Fuente de Agua y Sistema de Potabilización	
1- Fuente de Agua	La valoración corresponde al valor del <i>Índice Caudal Relativo</i> , que relaciona al caudal captado con el caudal de la fuente de agua, ponderado por efectos de otros usos y condición actual, según la siguiente asignación: 1- < 0,1 0,8- 0,1 - 0,8 0,6- 0,8 - 1,5 0,4- 1,5 - 2,5 0,2- 2,5 - 5 0 - > 5
2- Eficiencia de Uso	De acuerdo al <i>Índice Eficiencia de Uso</i> , que relaciona los volúmenes de agua captados de la fuente y registrados como consumo, considerando el porcentaje de medidores instalados. La asignación es la siguiente: 1- > 0,9 0,8- 0,75 - 0,9 0,6- 0,6 a 0,75 0,4- 0,5 a 0,6 0,2- 0,4 a 0,5 0- < 0,4
3- Planta/s Potabilizadora/s	En los casos de fuentes superficiales, según el grado de equipamiento y estado se la categorizó en: 1- completa y en buen estado de funcionamiento/mantenimiento, 0,7- completa y en mal estado de funcionamiento/mantenimiento, 0,5- parcial (por ej., sólo filtros lentos) y en buen estado de funcionamiento/mantenimiento, 0,3- parcial y en mal estado de funcionamiento/mantenimiento, 0,1- muy incompleta y en mal estado de funcionamiento/mantenimiento, Para las fuentes subterráneas se asignó un valor de calidad intermedio (0,5)
4- Manejo de Lodos	La valoración corresponde a la frecuencia prevista de remoción de los lodos. Independientemente de la fuente de agua, una mayor frecuencia prevista implica un control más frecuente sobre la posible acumulación. 1- más de una vez al mes 0,9- mensual 0,8- bimensual 0,6- tri o cuatrimestral 0,4- semestral 0,3- anual 0,2- sin frecuencia 0- no hay manejo de lodos
B. Red de Distribución de Agua	
5- Estado Físico de la Red	La valoración integra a la antigüedad de la red como a su frecuencia de mantenimiento según la curva funcional (ICA).
6- Eventos en Red	De acuerdo al <i>Índice Eventos en Red (Agua)</i> , que relaciona el número de reclamos mensuales (promedio may-jul 97) por pérdidas/ roturas en la red con la longitud de la red. La asignación es la siguiente: 1- < 0,05 0,8- 0,05 a 0,2 0,6- 0,2 a 1 0,4- 1 a 3 0,2- 3 a 5 0- > 5
7- Eventos en Conexiones	De acuerdo al <i>Índice Eventos en Conexiones (Agua)</i> , que relaciona el número de reclamos mensuales (promedio may-jul 97) por pérdidas/ roturas en conexiones y medidores con el número de conexiones y medidores, según: 1- < 0,1 0,8- 0,1 a 0,3 0,6- 0,3 a 1,5 0,4- 1,5 a 4 0,2- 4 a 6 0- > 5
8- Cobertura	La valoración corresponde al porcentaje de población con el servicio según la curva funcional (ICA).
Variable	Criterios de categorización y valoración
C. Calidad del Agua para Consumo	
9- Calidad del Agua	La valoración corresponde al porcentaje de muestras que no cumplen las metas o valores límites exigidos por la Concesión o recomendados por el CAN.
10- Control de Calidad	La valoración corresponde a la frecuencia de realización de los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos y el N° mínimo esperado según las recomendaciones del CoFES y la EPA. Este indicador varía entre 1 (relación ≥ 1 ; excelente control de calidad) y 0 (relación ≤ 0 ; pésimo control de calidad).

Tabla 32. Criterios y valoración utilizados para categorizar las variables en la evaluación del grado de cumplimiento de las metas de calidad del agua y control de la contaminación en la Provincia de Corrientes (HYTSA 1998)

4.6. MÉTODOS DIRECTOS: ANÁLISIS ESPACIALES MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (GIS)

4.6.1. Introducción

El análisis espacial del territorio para evaluar impactos ambientales tiene su origen en los métodos de ordenamiento de uso del suelo propuestos por Tricart (1966) y McHarg (1969), basados en el estudio de las interacciones de los factores ambientales pasibles de ser expresados espacialmente y, por ende, mapeados. Se denomina ordenamiento o zonificación al proceso mediante el cual se delimitan áreas de territorio en base a ciertos atributos o variables elegidas en función de un objetivo determinado.

Ambos autores utilizan como herramienta para el ordenamiento la superposición de mapas temáticos (es decir, mapas que presentan un solo tipo de información), aunque adoptando criterios diferentes para el análisis. Tricart (1966), por un lado, fundamenta la zonificación en función de las restricciones impuestas por la dinámica los sistemas ambientales, de manera de evitar la degradación de los recursos naturales. McHarg (1969), en cambio, evalúa la aptitud de las unidades territoriales en relación a los diversos usos (entendiéndose por unidad territorial un área homogénea en cuanto a sus atributos).

En el contexto de una EIA, la aptitud ambiental puede definirse como la adecuación o el potencial que posee una unidad territorial para un determinado uso en función de los impactos ambientales potenciales esperados. Es decir que las unidades ambientales de mayor aptitud son aquellas en las que, dadas sus características, se presume que habrá menos efectos adversos o que la intensidad de los impactos será menor. La restricción ambiental, por otro lado, y de manera inversa a la aptitud, puede definirse como la sensibilidad que presenta una unidad territorial para un uso particular, e indica la inconveniencia de destinar la misma a tal fin. Ello significa que una unidad de territorio que posee la máxima restricción presenta la menor aptitud.

La elección del enfoque a emplear (aptitud o restricción) en una EIA particular dependerá de las características del proyecto que se va a evaluar, y de los objetivos que se deseen alcanzar. Si bien en el proceso de evaluación uno de los fines puede ser detectar las zonas de mayor sensibilidad ambiental, en algunas circunstancias es de utilidad la elaboración de mapas de aptitud. En particular, los mapas de aptitud ambiental son sumamente útiles en los casos en que se evalúan diversas alternativas de un mismo proyecto cuyos impactos ambientales dependan directamente de la ubicación de las obras y tareas. Por ejemplo, pueden emplearse en los casos en que se estudia la posible localización de obras puntuales (como la toma de agua en una fuente superficial) o lineales (como la construcción de un acueducto), o cuando se desea determinar la ubicación que tendrá una planta de tratamiento (o el depósito de barros provenientes de la misma).

El análisis espacial permite, por lo tanto, identificar, valorar y cuantificar impactos sobre una base geográfica, ya que la localización de los mismos permite detectar en forma rápida, clara y precisa las áreas ambientalmente más sensibles al proyecto en cuestión e identificar con mayor rapidez los impactos que generará la obra sobre el medio. Las limitaciones del análisis geográfico son (Dias Moreira 1992):

- 1). La imposibilidad, en algunos casos, de cuantificar la magnitud de los impactos.
- 2). La imposibilidad de introducir factores ambientales que no son mapeables.
- 3). La subjetividad en los criterios con los que se define las potencialidades o restricciones de los factores ambientales, y
- 4). La difícil integración al análisis de los impactos socio-económicos.

Con el avance de la tecnología se ha superado el problema principal (la resolución) que presentaba en un comienzo la evaluación espacial del territorio mediante la superposición de mapas temáticos, al verse limitado el número de variables que podían analizarse al mismo tiempo. Actualmente el uso de Sistemas de Información Geográfica (*Geographic Information Systems* o GIS) permite no sólo emplear tantos parámetros como sea necesario, sino también introducir ecuaciones matemáticas que representen la forma en que interactúan los factores, o la importancia relativa de cada uno de ellos.

Un GIS es en esencia un sistema diseñado para captar, almacenar, manipular, crear y desplegar información referenciada geográficamente en forma de capas temáticas, dando como producto mapas, figuras e informes estadísticos. De esta manera, estos programas de computación permiten analizar variables de ocurrencia espacial a escala regional o geográfica, es decir información cartográfica en sistemas georeferenciados (coordenadas de latitud/longitud, UTM o Gauss-Krüger), permitiendo cuantificar, realizar simulaciones, y aplicar modelos matemáticos con alto grado de realismo.

4.6.2. Aplicación en EIAs Para Proyectos de Abastecimiento de Agua Potable

La metodología de análisis espacial puede aplicarse para evaluar impactos que requieren el análisis de variables mapeables ya sea que tengan disposición bidimensional (por ejemplo, porcentaje de cobertura vegetal, tipos de suelo, áreas inundables, profundidad de un acuífero, tipos de uso de la tierra, zonas de mayor o menor tránsito urbano, unidades paisajísticas), disposición lineal (como ferrovías, rutas, autopistas, calles y avenidas, redes de agua potable o cloacales, sistemas de riego, ductos), o disposición puntual (puntos de descarga de contaminantes, edificios, monumentos, tomas de agua en una fuente superficial, perforaciones). En la **Tabla 33** se da un listado de los impactos ambientales explicados en la Sección 3 (**Tabla 9**) que pueden identificarse y cuantificarse de manera espacial mediante el uso de GIS.

En algunos casos, esta metodología puede usarse en combinación con otros métodos específicos. Por ejemplo, la formación de conos de depresión y la alteración del comportamiento hidráulico de acuíferos debe evaluarse en combinación con métodos específicos de impactos hidrogeológicos, la destrucción de ambientes litorales o la pérdida de la vegetación pueden evaluarse por métodos de evaluación de hábitat, la destrucción de sitios de importancia arqueológica o paleontológica mediante métodos específicos para evaluar impactos culturales, y la destrucción de sitios de interés turístico por métodos específicos de paisaje. Todos estos métodos están explicados en el presente Capítulo.

Impactos
2. Destrucción de ambientes litorales.
3. Eliminación de la vegetación.
4. Aumento de procesos erosivos por eliminación de la cobertura vegetal y la apertura de caminos.
6. Aumento de procesos de erosión de márgenes y sedimentación aguas abajo de las obras.
9. Perturbación de flora y fauna terrestre por excavaciones y/o voladuras.
10. Destrucción de sitios de importancia arqueológica, paleontológica o de interés turístico.
11. Obstrucción del escurrimiento superficial, inundaciones, desmoronamientos.
12. Impacto sobre la calidad del agua debido a una mala ubicación de las captaciones.
13. Impacto sobre la calidad del agua por disposición de lodos o desechos industriales.
15. Peligro para el público que circula por la zona de captación y/o utiliza el cuerpo de agua.
16. Impactos indirectos por la presencia de nueva infraestructura (incendios, tala no autorizada, generación de microbasurales).
17. Alteración de canales o cursos de agua y del hábitat de la flora y fauna por inundaciones locales.
23. Aumento de sedimentación aguas abajo de la captación.
24. Impacto sobre el nivel en cuerpos de agua lénticos.
29. Alteración de la llanura de inundación de los cursos y ambientes litorales en cuerpos de agua.
34. Formación de un cono de depresión o embudo de bombeo en una perforación.
39. Modificación del comportamiento hidráulico en acuíferos confinados o semiconfinados.
40. Impactos en los acuíferos por intrusión marina.
44. Riesgos por contaminación de los acuíferos con líquidos cloacales.
50. Aumento de erosión eólica y fluvial a causa de la deforestación y limpieza de la superficie.
51. Trastornos en el tráfico y la red vial.
52. Molestias sonoras y visuales a la población vecina.
55. Perturbación de flora y fauna terrestre por excavaciones y/o voladuras.
56. Destrucción de sitios de importancia arqueológica, paleontológica o de interés turístico.
64. Agravamiento de problemas regionales en materia de manejo de desechos sólidos.
65. Alteración de la calidad de los suelos, agua y biota por disposición de lodos y sólidos.
66. Perturbación de la arboleda urbana.
67. Destrucción de sitios arqueológicos, paleontológicos y/o de interés turístico por excavaciones y/o voladuras.
68. Deterioro de las instalaciones de servicios urbanos (energía eléctrica, gas, agua y teléfono).
69. Obstrucción de las obras de drenaje o del escurrimiento superficial natural de las aguas.
71. Obstrucción del tránsito y transporte público (efecto barrera).
79. Inconvenientes e impactos estéticos sobre el vecindario por rotura o pérdida en la red de distribución.

Tabla 33. Impactos explicados en la Sección 3 (Tabla 9) que pueden ser evaluados y monitoreados mediante análisis geográficos

4.6.3. Obtención de Mapas de Sensibilidad Ambiental

Para llevar a cabo una zonificación del área que se quiere estudiar mediante GIS pueden aplicarse diferentes métodos. A continuación se describe a modo de ejemplo el Método ABC que, aunque originalmente fue propuesto por Bastedo *et al.* (1984) para el relevamiento y manejo de recursos en áreas de importancia ecológica (en particular, áreas naturales protegidas), puede adaptarse a otros fines como la realización de una EIA.

El Método ABC integra información de variables Abióticas (p.e. hidrogeológicas, geomorfológicas, edáficas), Biológicas (tipo de vegetación natural, distribución de humedales donde anidan aves migratorias), y Culturales o sociales (uso de la tierra,

asentamientos, caminos, líneas férreas, situación dominial). Según Bastedo *et al.* (1984) las variables abióticas, bióticas y culturales pueden clasificarse en estructurales y funcionales. En el primer caso, las variables seleccionadas deben describir aspectos morfológicos que se consideren fundamentales en el área de influencia del proyecto. En el segundo, los mapas deben delinear áreas en donde ocurren procesos relevantes. Si bien este tipo de variables no siempre son tenidas en cuenta, son de suma utilidad al permitir incorporar la dimensión temporal. En la **Tabla 34** se dan ejemplos de ambos tipos de variables.

Variables estructurales	
Abióticas	Geoformas, depósitos superficiales, red de drenaje, cuencas hidrológicas, profundidad de acuíferos, pendiente, tipo de suelo.
Bióticas	Fisonomía de la vegetación, cobertura, composición específica, zonas de reproducción, calidad de hábitat para alguna(s) especie(s) de importancia (en función de la disponibilidad de alimento, sitios de refugio).
Culturales	Sitios de importancia histórica o patrimonial (arqueológica, paleontológica), sitios de importancia turística, asentamientos humanos, rutas, ferrovías, uso de la tierra (agricultura, forestación, ganadería), espacios verdes urbanos, sistema de la red cloacal, cuencas visuales, unidades paisajísticas.
Variables funcionales	
Abióticas	Procesos geomórficos que operan en la actualidad modificando el relieve (tales como erosión en cauces, aluviación, remoción en masa, inundaciones).
Bióticas	Áreas de alta productividad, áreas en distintas etapas de sucesión, patrón de dispersión de especies de importancia, hábitats en donde tienen lugar funciones esenciales como reproducción, alimentación, dormideros.
Culturales	Corredores o presencia de centros de actividad que generan un patrón espacial y temporal de uso de la tierra, descargas contaminantes, zonas de mayor tránsito urbano.

Tabla 34. Ejemplos de variables estructurales y funcionales que pueden emplearse para la elaboración de mapas interpretativos

A partir de la información de las variables estructurales y funcionales se elaboran, en primera instancia, mapas temáticos interpretativos. Para ello pueden utilizarse índices o criterios que “traduzcan” las variables seleccionadas en información que permita establecer las zonas de mayor sensibilidad ante los potenciales impactos. Los índices deben ser cuantitativos (en donde cada categoría debe tener un valor determinado).

Mediante el uso de estos índices se elaboran mapas de significado ambiental (a partir de variables estructurales) y de restricción ambiental (a partir de variables funcionales) para los tres tipos de variables. De esta manera se identifican, por un lado, diferentes zonas en relación a su valor natural; y, por otra parte, se mapean las unidades que muestran procesos temporales o espaciales que representan restricciones ambientales importantes. En la **Tabla 35** se dan ejemplos de dichos índices para los dos tipos de variables.

Los mapas de significado y restricción ambiental para cada una de las variables pueden obtenerse a partir de los mapas temáticos interpretativos categorizando cada unidad de territorio (al combinar matemáticamente los valores que presenta para cada índice). Para ello debe elegirse el criterio o combinación matemática que se adoptará para llevar a

cabo la categorización. Este punto es uno de los más controvertidos de la metodología ya que no hay un solo modelo a adoptar, ni una ecuación de validez universal que garantice los mejores resultados.

Indices para evaluar significado ambiental (variables estructurales)	
Componente abiótico	Singularidad, rareza, representatividad, o importancia ecológica de alguna característica abiótica o proceso.
Componente biótico	Diversidad de especies, rareza o singularidad de hábitats, vulnerabilidad a la extinción.
Componente antrópico (cultural)	Importancia histórica, arqueológica, turística.
Indices para evaluar restricción ambiental (variables funcionales)	
Componente abiótico	Riesgo ambiental debido a procesos geomórficos (patrón de perturbaciones), susceptibilidad a la erosión.
Componente biótico	Capacidad de recuperación y susceptibilidad de la vegetación frente a una perturbación, vulnerabilidad e importancia de hábitats para especies animales de interés.
Componente antrópico (cultural)	Impacto ambiental actual (intensidad de uso antrópico).

Tabla 35. Ejemplos de índices utilizados en la elaboración de mapas de significado y restricción ambiental a partir de variables estructurales y funcionales respectivamente

Esta variabilidad en cuanto a las posibilidades de tratar los datos tiene efectos muy marcados en las valoraciones subjetivas, en los pesos asignados a los criterios particulares y, en consecuencia, en la categorización final. Sin embargo, existen métodos de cómo debe llevarse a cabo la misma, que han surgido de estudiar las prácticas más comunes de evaluación (Theberge and Smith 1987). Si bien las diferentes aproximaciones no eliminan la subjetividad, es conveniente hacerla explícita. La precisión de una categorización es función de la incertidumbre de:

- 1). Las mediciones de los valores de las variables,
- 2). La variabilidad que presentan diferentes individuos en la asignación de valores,
- 3). La variabilidad en la asignación de la importancia de los diferentes criterios, y
- 4). La ambigüedad con que habitualmente se describen los mismos.

A menos que una categorización confeccionada a partir de múltiples criterios esté basada en suposiciones válidas, los resultados de la misma pueden carecer de significado real.

Los modelos de evaluación basados en criterios múltiples integran las mediciones o valores de varios criterios separados. Existen dos tipos básicos de modelos: compensatorios y no-compensatorios (Hwang and Yoon 1981). El primero requiere que todos los criterios sean comparables, en el sentido que un mayor valor en uno debe ser compensado por un menor valor en otro, y que además tengan las mismas unidades. Los modelos no-compensatorios se usan cuando los diferentes criterios no son comparables. Debe tenerse en cuenta, sin embargo, que la práctica de agregar criterios en un índice

puede enmascarar la complejidad de un problema, además, de ignorar la relación entre criterios (Gotmark *et al.* 1986).

El modelo compensatorio más simple es el método aditivo ponderado, en donde a cada criterio se le asigna un valor de importancia. En este caso el resultado del ranking de cada unidad de territorio está dado por la sumatoria de los productos del valor del criterio por el de su importancia. Los valores de los criterios pueden ser mediciones directas o valores subjetivos, pero deben estandarizarse para que sean comparables. La estandarización implica la creación de un sistema de valoración único para todos los criterios (de manera que, cambios similares en diferentes criterios sean equivalentes). Por otro lado, los criterios utilizados deben ser independientes unos de otros, lo cual en muchos casos es poco realista.

Los mapas de significado y restricción ambiental deben integrarse para obtener el mapa final de zonas de sensibilidad ambiental ante el proyecto, en donde deben establecerse las categorías que se consideren pertinentes, por ejemplo en una escala 0-1, entre sensibilidad nula (valor 0) y máxima sensibilidad ambiental (valor 1). En el flujograma de la **Figura 9** se resumen los pasos a seguir para obtener el mapa de sensibilidad ambiental. De esta manera, el Método ABC (Bastedo *et al.* 1984) puede aplicarse a EIAs para identificar las áreas que por sus características y restricciones ambientales son más vulnerables al proyecto que se quiere implementar.

Este método puede ser adaptado para diferentes proyectos en función de los objetivos y de la disponibilidad de información de base. También puede utilizarse en aquellos casos en los que se requiere un estudio de aptitud ambiental, como en el ejemplo hipotético que se explica en la siguiente sección.

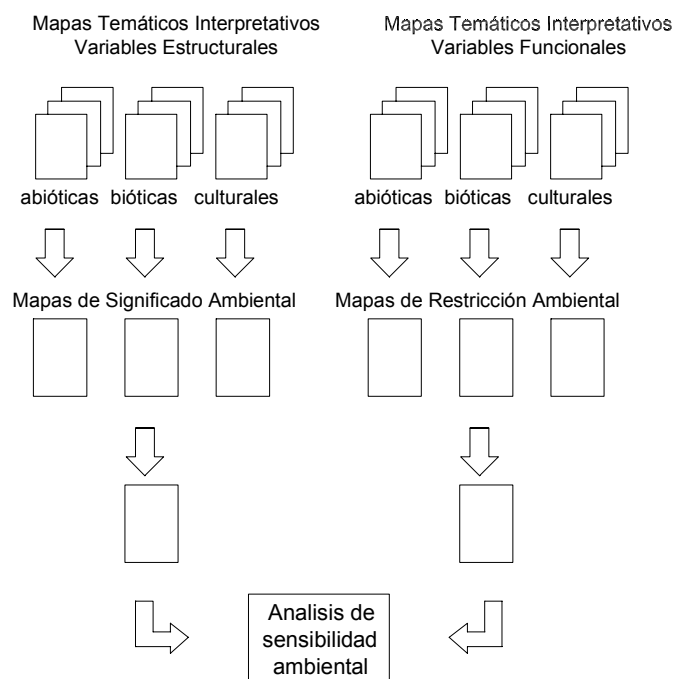


Figura 9. Flujograma que ilustra los pasos a seguir en la obtención de un mapa de sensibilidad ambiental (Fuente: adaptado de Bastedo *et al.* 1984)

4.7. EJEMPLO HIPOTÉTICO DE APLICACIÓN DE UN GIS: EVALUACIÓN DE LA APTITUD AMBIENTAL PARA LA INSTALACIÓN DE UN ACUEDUCTO

4.7.1. Objetivos y Alcances

El objetivo del presente ejemplo es desarrollar la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (GIS) en evaluaciones de impacto ambiental a través de un estudio de caso hipotético. En este ejemplo se identifican, valoran y cuantifican zonas ambientalmente sensibles (o aptas) para la instalación de un acueducto en el área de influencia de una localidad de la Provincia de Córdoba. Se seleccionó dicha área para este estudio de caso debido a que se cuenta con una base de datos de la región, lo cual facilita la aplicación del método.

La realización de un estudio de este tipo es necesaria en todos los casos de Proyectos cuyos impactos ambientales resultantes dependan primariamente de la ubicación de las obras y tareas. Para otros casos debe justificarse la aplicación de este enfoque.

Debe aclararse que en este caso sólo se evalúan los impactos potenciales generados por la instalación del acueducto, es decir que no se consideran algunos aspectos relevantes tales como la selección de la fuente de captación e impactos producidos por un eventual trasvase de cuencas.

El objetivo central de la aplicación de un GIS, en este estudio de caso, es el de identificar y cuantificar zonas ambientalmente aptas (es decir, donde los impactos ambientales potenciales son menores) para la instalación de un acueducto. Ello permite comparar, según criterios ambientales, las trazas de un acueducto entre diferentes alternativas técnicas posibles para conectar dos puntos en el espacio.

El procedimiento de aplicación del GIS se llevó a cabo en seis etapas:

- 1). Selección de variables ambientales representativas.
- 2). Definición de criterios para la valoración de la aptitud ambiental.
- 3). Elaboración de mapas temáticos de aptitud (o restricción) ambiental.
- 4). Elaboración de un mapa integral de aptitud ambiental.
- 5). Identificación de trazas alternativas para la instalación de un acueducto.
- 6). Comparación y selección de la traza ambientalmente menos desfavorable para la instalación de un acueducto.

Debe destacarse el hecho de que la selección de las trazas que minimizan los impactos sobre el medio debe realizarse, inequívocamente, una vez evaluada la aptitud ambiental del área en donde se llevará a cabo el proyecto.

4.7.2. Selección de Variables Ambientales Representativas

La selección de variables en este caso se realizó en función de los datos existentes (**Tabla 36**), pero la mayor parte de las variables utilizadas son representativas de la realidad ambiental y social del área del estudio. Sin embargo, en otras áreas pueden

existir otras variables ambientales relevantes para la evaluación de un proyecto de las características del presente ejemplo, las cuales deben ser tenidas en cuenta en el análisis.

Cabe resaltar que la selección de las variables para evaluar la sensibilidad ambiental de una región a un determinado proyecto constituye una etapa en sí misma.

Tipo	Variable
Física	Geomorfología Características Geotécnicas del Suelo Profundidad de la Primera Napa
Biológica	Vegetación Áreas Naturales Protegidas
Antrópica	Usos del Suelo Accesibilidad Distancia al del Borde Area Urbana

Tabla 36. Variables consideradas en la evaluación de aptitud ambiental para la instalación del acueducto

4.7.3. Criterios Para la Valoración de Aptitud Ambiental

A cada variable ambiental considerada para la evaluación de aptitud se le asignó, bajo la forma de un Índice de Aptitud Ambiental (IAA), una escala de valores de aptitud que varía entre 0 y 1, siendo 0 aquellos casos no aptos o restrictivos y 1 los de aptitud máxima, óptima o sin restricciones. Al asignar tales valores se consideró, implícitamente, una relación inversa entre la aptitud y los impactos ambientales potenciales que podría generar la instalación del acueducto: a mayor aptitud menor impacto ambiental.

La asignación de valores de aptitud fue realizada por distintos especialistas en base al grado de susceptibilidad de cada unidad o condición ambiental ante la incidencia de las acciones y obras de instalación de un acueducto. Al analizar la susceptibilidad de cada condición ambiental se tuvo en cuenta, especialmente, su capacidad de asimilación de las posibles alteraciones sin pérdida significativa de calidad y funcionalidad. Esta valoración abarcó, asimismo, consideraciones tales como duración, intensidad y grado de reversibilidad de los impactos según los criterios establecidos en cada caso y para cada unidad o condición ambiental analizada.

Condición de Aptitud Ambiental	Valor del IAA
Óptimo	≥ 0.9
Deseable	0.8 – 0.89
Aceptable	0.7 – 0.79
Tolerable	0.6 – 0.69
No Tolerable	0.01 – 0.59
No Apto / Restrictivo	0.0

Tabla 37. Categorías de aptitud ambiental para la instalación de un acueducto

Se consideró como aptitud tolerable para la instalación del acueducto, a los valores ≥ 0.6 de aptitud ambiental. En la **Tabla 37** se indican las categorías de aptitud ambiental establecidas.

A continuación se explican los criterios utilizados en la asignación de los valores de aptitud ambiental para cada variable en el área de estudio.

4.7.3.1. Aptitud Ambiental Según la Geomorfología

Los riesgos de inundación, que dificultan la accesibilidad, la construcción, las tareas de mantenimiento e incrementan los problemas de corrosión, están directamente ligados a la geomorfología, por lo que ésta es una de las variables que más influyen sobre la aptitud del terreno para la construcción de un acueducto.

Por otra parte, dado que la construcción involucra la eliminación, parcial o total, de la cobertura vegetal debe tenerse en cuenta también la susceptibilidad a la erosión del terreno.

En la **Tabla 38** se presentan las propiedades de las distintas geoformas identificadas en el área de influencia del Proyecto, y se detallan los valores de aptitud ambiental según sus características.

Categoría Geomorfológica	Valor de Aptitud	Características
Lomas loésicas planas	0.9	Por no tener procesos erosivos intensos ni ser zonas inundables, constituyen la única subunidad geomorfológica sin impedimentos directos para la instalación del acueducto.
Planos aluviales levemente deprimidos	0.3	Su escasa pendiente y su drenaje impedido ofrecen problemas de anegamiento que, aunque son temporarios y aislados, le confieren a esta geoforma un bajo valor de aptitud.
Paleoalbardón	0.0	Su gruesa granulometría y relieve los hacen muy vulnerables y no aptos para la instalación del acueducto.
Bajos longitudinales de acumulación temporaria	0.0	Todas estas geoformas son susceptibles de inundarse debido a que suelen conducir volúmenes importantes de agua que se concentran con las precipitaciones extraordinarias. En los bajos longitudinales de acumulación temporaria este fenómeno de acumulación sucede en menor intensidad.
Bajos longitudinales de transporte temporario	0.0	
Bajo inundables	0.0	
Canal de estiaje	0.0	Las tres primeras subunidades están vinculadas al cauce actual del río, y tienen sedimentos altamente permeables, están próximos al nivel de la freática, y tienen un alto riesgo de inundación (de hecho el canal de estiaje está siempre ocupado por agua), por lo que ninguna de ellas es apta. Lo mismo vale para la subunidad Barranca, que está vinculada a las anteriores y en algunos casos presenta taludes susceptibles a erosionarse.
Lecho ordinario	0.0	
Terraza	0.0	
Barranca	0.0	Con sedimentos arenosos y con depresiones en el centro que favorecen la concentración de agua, estas geoformas tampoco son aptas para la instalación del acueducto.
Paleomeandro	0.0	
Laguna	0.0	

Tabla 38. Criterios de aptitud ambiental según la geomorfología

4.7.3.2. Aptitud Ambiental Según las Características Geotécnicas de los Suelos

Las características geotécnicas de los suelos también representan un factor ambiental relevante en la selección de la traza más adecuada para la instalación de un acueducto. Los distintos tipos de suelo presentan diferente estabilidad de taludes, susceptibilidad a la erosión y resistencia a la excavación, pudiendo ser necesario en algunos casos el uso de explosivos.

En la **Tabla 39** se reproducen estas propiedades y se detallan los valores de aptitud ambiental de los suelos según sus características geotécnicas.

Tipo de Suelo	Suscept. Erosión	Estabilidad de Taludes	Valor de Aptitud	Características Geotécnicas
Consociación Villa del Rosario	Ligera-Moderada	Alta	0.8	Resistentes en seco disminuyendo sus condiciones cuando se los satura. Al corte o excavación presentan paredes verticales que no se desmoronan. Hasta los 10 m de profundidad suele haber dos o tres capas de tosca.
Consoc. Manfredi	Ligera-Moderada	Media-alta	0.6	En profundidad presentan características similares a las del grupo anterior
Compl. Matorrales Impira-Costasacate	Ligera-Moderada	Media-alta	0.6	Comportamiento muy similar a los de la Consociación Villa del Rosario, en el sentido de que al corte presentan taludes verticales y niveles de tosca a distintas profundidades. Como es una zona muy heterogénea debido a su proximidad con el río, pueden existir capas arenosas aisladas.
Compl. Matorrales – La Reyna	Ligera-Moderada	Baja	0.3	Se anegan ocasionalmente por períodos de corta duración, y en los que suele intervenir el nivel freático que se encuentra cercano a la superficie. Esto hace que por épocas tengan el drenaje impedido.
Complejo Río Segundo – Pilar	Moderada-Alta	Baja	0.1	En profundidad son suelos con características geotécnicas dispares. Las capas de arena suelen ser muy aptas para fundaciones, pero sus paredes se desmoronan con facilidad.

Tabla 39. Criterios de aptitud ambiental según las características geotécnicas de los suelos

4.7.3.3. Aptitud Ambiental Según la Profundidad de la Primera Napa

Se tuvo en cuenta esta variable en el análisis de aptitud ambiental dado que la profundidad a la cual se halla la primera napa está asociada con la posibilidad de alteración de su calidad debido a tareas de construcción (excavaciones excesivas, derrames accidentales de sustancias contaminantes) o procesos que pueden ocurrir durante la operación del acueducto (pérdidas o infiltraciones importantes de agua, corrosión de la cañería). En la **Tabla 40** se detallan los valores de aptitud para las distintas profundidades identificadas en el área de estudio.

Categorías de Profundidad	Valor de Aptitud
> -10 m	1.0
-5 m a -10 m	0.9
-3 m a -5 m	0.6
< -3 m	0.4

Tabla 40. Criterios de aptitud ambiental según la profundidad de la primera napa

4.7.3.4. Aptitud Ambiental Según la Vegetación

La construcción de un acueducto trae aparejada la eliminación, parcial o total, de la vegetación en una franja a lo largo del recorrido del mismo, fundamentalmente por la necesidad de realizar excavaciones.

La magnitud del impacto generado aumenta en función de la diversidad de especies y el valor conservativo del tipo de vegetación. En la **Tabla 41**, se describen los tipos de vegetación existentes en el área de influencia del Proyecto y sus valores de aptitud en función de estas características.

Tipo	Valor de Aptitud	Observaciones
Vegetación nativa extirpada	1.0	Sitios carentes de todo tipo de vegetación (ripietas, asentamientos rurales, caminos).
Forestaciones y bosques implantados	0.9	Comunidades generadas fundamentalmente por la intervención antrópica. Si bien no son de muy alto valor conservativo en cuanto a la vegetación, sí lo pueden ser en cuanto a la fauna, pudiendo constituir refugios para las mismas en zonas muy alteradas.
Arbolado urbano	0.7	
Comunidades ruderales	0.5	
Bosque alineados	0.3	Poseen una considerable riqueza de especies relativamente poco perturbadas.
Matorral	0.1	En ausencia de perturbaciones estas zonas pueden generar comunidades vegetales similares a las que se registran actualmente en los relictos de espinal.
Bosque en islas del río	0.0	Poseen una considerable riqueza de especies relativamente poco perturbadas.
Relictos del Espinal	0	Representan la unidad más próxima a lo que eran los bosques originales que dominaban la región, son los de mayor riqueza y valor conservativo. Estas comunidades vegetales están prácticamente desprotegidas en las unidades de conservación existentes (Parques Nac., Parques Prov., Reservas). Se ha considerado que la preservación de los relictos de espinal es indispensable.
Corredores	0	Mantienen conectados los escasos manchones de bosque que aún se conservan y sirven de vía para la dispersión y colonización de las especies nativas. Tienen un valor conservativo análogo o mayor (por sus funciones emergentes) a los relictos de espinal.

Tabla 41. Criterios de aptitud ambiental según la vegetación

4.7.3.5. Aptitud Ambiental Según las Áreas Naturales Protegidas

Las comunidades del Espinal son la unidad vegetal más representativa dentro del área de estudio considerada. Sin embargo, apenas el 0.1% de la superficie que ocupa dicha unidad en Argentina (10.914.719 ha) está protegida (APN 1994). En esa porción protegida (11917 ha) de los espinales no hay reservas con categorías de manejo estrictas, y el 99.4% del área posee un control nulo a mínimo insuficiente. Sólo 134 ha preservan esta fisonomía en la Provincia de Córdoba (Reserva Ecológica Suquía, de 66 ha, y Reserva Natural Parque Tau, de 68 ha); el resto corresponde a Santa Fé (7 reservas de entre 15 y 6000 ha). Por lo tanto, la protección efectiva del Espinal es prácticamente nula. Posiblemente sea la unidad fitogeográfica del país más comprometida en cuanto a su conservación.

Esta unidad de transición entre las planicies subtropicales del Chaco y las templadas de la Pampa ha sufrido un intenso proceso de transformación antrópica, asociada a la actividad agrícola-ganadera, que consistió en desmonte, reemplazo por cultivos, y la consiguiente extirpación y/o reducción numérica de la fauna nativa, especialmente de vertebrados. A esta misma escala sería de gran valor promover la conservación de los corredores remanentes de vegetación nativa, ya que es muy probable que a mediano plazo resulten los únicos hábitats para la fauna nativa en toda la región de la Pampa y el Espinal.

Por todos estos motivos las áreas protegidas proyectadas en la región han sido considerados sitios inaptos para la instalación de un acueducto (**Tabla 42**), mientras que las zonas destinadas a áreas protegidas potenciales (franja de 200 m de amortiguación a lo largo de la ribera del río) tienen una muy baja aptitud ambiental.

Categorías	Valor de Aptitud
Sin interés actual como Area Protegida	1.0
Áreas Protegidas potenciales	0.1
Áreas Protegidas proyectadas	0.0

Tabla 42. Criterios de aptitud ambiental según las áreas naturales protegidas

4.7.3.6. Aptitud Ambiental Según el Uso del Suelo

Existen diferentes grados de conflictos (incluyendo la incompatibilidad) entre la instalación de un acueducto y algunos de los usos actuales o potenciales del suelo, sobre todo por los efectos sobre el paisaje al eliminarse la vegetación, las molestias y problemas causados a la población durante la construcción del mismo, o debido a inundaciones por roturas y tareas de mantenimiento.

Las áreas con un alto nivel de incompatibilidad (y por lo tanto restrictivas) son, por un lado, las utilizadas con fines recreativos y los lugares de interés histórico-turístico debido a su alto valor estético y/o cultural, y por otro, las zonas urbanas, las industrias y las viviendas rurales. En estas últimas se consideraron dos áreas de influencia: una zona restrictiva (IAA = 0) alrededor de la vivienda de radio = 50 m, y un área de amortiguación alrededor de la anterior hasta los 100 m de radio desde el baricentro de la vivienda.

Fuera del área urbana, el grado de conflictos con los usos del suelo es un poco menor, aunque no tolerable en el caso de las áreas destinadas a la explotación agrícola-ganadera. Los valores de aptitud varían en este caso dependiendo del valor de las actividades económicas destinadas al suelo. El máximo de aptitud se establece en las áreas sin uso antrópico y de bajo valor conservativo, y en los bordes de caminos por tratarse de áreas ya impactadas (**Tabla 43**).

Para el caso de la red vial se consideró que la franja ubicada a 50 m del eje de la misma es, en general, una de las condiciones más adecuadas para la instalación de un acueducto. Se asignó un IAA = 1 a esta franja debido a que este sector pertenece a una zona de servidumbre, ya ha sido ambientalmente afectada por las obras viales, y está facilitada la accesibilidad para tareas de mantenimiento.

Categorías	Valor de Aptitud	Observaciones
Excavaciones	1.0	Fuera del área urbana
Red vial (indirecta)	1.0	Con zona de amortiguación de contorno de 50 m
Sin uso actual – Abandonado	0.6	Con zona de amortiguación de 50-100 m
Red vial (directa)	0.5	
Viviendas Rurales	0.5	
Ganadería – Pasturas	0.4	
Uso agropecuario potencial	0.4	Con zona de amortiguación de radio de 50 m
Cultivos	0.3	
Viviendas Rurales	0.0	
Area Urbana	0.0	
Industrias	0.0	
Recreativo	0.0	

Tabla 43. Criterios de aptitud ambiental según el uso del suelo

4.7.3.7. Aptitud Ambiental Según la Accesibilidad

Una de las variables a tener en cuenta en la selección de la traza para la instalación de un acueducto es su accesibilidad. Los caminos de tierra reciben los valores de aptitud más bajos, ya que las lluvias, particularmente en verano, podrían condicionar el acceso e interferir con las tareas de construcción o mantenimiento. En el otro extremo, los caminos asfaltados en buen estado reciben los valores más altos de aptitud. En la **Tabla 44** se presentan los criterios utilizados (tipo de camino y distancia al mismo) para valores discretos de aptitud ambiental.

Categorías de accesibilidad (distancia a la red vial)	Valor de Aptitud
Asfalto en buenas condiciones, a < 200 m	1.0
Asfalto a 200-600 m; Consolidado bueno a < 200 m	0.9
Asfalto a > 600 m; Consolidado a 200-600 m	0.8
Consolidado a > 600 m ; Tierra a < 200 m	0.7
Tierra a > 200 m	0.6

Tabla 44. Criterios de aptitud ambiental según la accesibilidad

4.7.3.8. Aptitud Ambiental Según la Distancia al Borde del Área Urbana

Dado las molestias que podrían causar las obras de construcción del acueducto, así como posibles roturas o tareas de mantenimiento en la etapa de operación del mismo, se consideró importante incluir la variable distancia al borde del área urbana en el análisis de aptitud.

Se otorgó el valor más bajo de aptitud a las zonas comprendidas en un radio de 500 m desde el perímetro del ejido urbano y cuatro categorías de aptitud no tolerable, previendo la posibilidad de desplazamiento del perímetro como consecuencia del crecimiento de la ciudad.

En la **Tabla 45** se detallan los valores de aptitud para distintos rangos de distancias de la ciudad. Sólo se tuvo en cuenta la situación territorial sobre la margen izquierda del río.

Categorías de distancia (km.)	Valor de Aptitud	Observaciones
> 8.5	1	Se considera sólo la margen izquierda del río
5.0-8.5	0.9	
2.5-5.0	0.8	
2.0-2.5	0.4	
1.5-2.0	0.3	
1.0-1.5	0.2	
0.5-1.0	0.1	
< 0.5	0.0	

Tabla 45. Criterios de aptitud ambiental según la distancia al borde del área urbana

4.7.4. Elaboración de Mapas de Aptitud Ambiental

4.7.4.1. Procedimiento Analítico

Se adaptó el método ABC (Bastedo *et al.* 1984) de manera de integrar las variables abióticas, biológicas, y culturales o sociales en tres niveles secuenciales:

- 1). Elaboración de mapas temáticos con información base.
- 2). Valoración estandarizada de los recursos (categoría de aptitud de cada variable ambiental).
- 3). Delimitación y zonificación de áreas según su grado de aptitud ambiental global.

La elaboración de los mapas temáticos socioambientales se realizó mediante la digitalización en sistema CAD de información básica (Nivel 1 de Integración Ambiental).

A cada una de las variables evaluadas se le asignaron valores de aptitud en base a los criterios anteriormente descritos y siguiendo un modelo compensatorio (Hwabg & Yoon 1981), mediante un método de ponderación aditiva simple evaluando la aptitud de cada recurso en una escala 0-1 (Nivel 2 de Integración Ambiental).

El mapa de aptitud ambiental integral se obtuvo mediante la superposición de los mapas temáticos individuales aplicando un modelo de promedios ponderados mediante un Valor de Importancia del Parámetro (VIP), lo que permitió obtener el valor resultante de los Índices de Aptitud Ambiental (IAA) integral. Posteriormente se re-categorizó el valor resultante en once categorías desde máxima aptitud (1) a inaptitud total (0) (Nivel 3 de Integración Ambiental).

La ponderación fue realizada tanto para disminuir el efecto no deseado de la interdependencia entre variables (es decir, condiciones ambientales evaluadas por más de una variable) como para focalizar aquellos aspectos ambientalmente más relevantes (e.g. factores mas sensibles al impacto ambiental de un acueducto) o de mayor interés para el contexto social bajo estudio (e.g. factores emblemáticos o de alto simbolismo para las comunidades afectadas).

La ponderación de las variables utilizadas mediante VIPs (**Tabla 46**) consistió en tres pasos:

- 1). Jerarquización de las variables: 1 (más importante) a 8 (menos importante), en forma secuencial a fin de representar cada subsistema ambiental (físico, biológico, antrópico).
- 2). Asignación de un valor de importancia relativa de cada variable en función al parámetro más importante de entre los evaluados.
- 3). Estandarización de los VIPs (porcentaje de la sumatoria de VIPs relativos).

La asignación de valores VIPs fue realizada por distintos especialistas de modo iterativo hasta alcanzar valores de consenso (menos del 5% de diferencia). Se tuvieron en cuenta criterios basados en estudios de base, en las recomendaciones de la bibliografía de cada especialidad, y en la experiencia personal.

Tipo	Variable	Dependiente de	VIP	Ponderación (%)
Física	Geomorfología		1,00	15,87
Antrópica	Usos del Suelo	Geomorfología	0,95	15,08
Biológica	Vegetación	Geomorfología	0,90	14,29
Física	Carac. Geotécnicas del Suelo	Geomorfología	0,85	13,49
Antrópica	Accesibilidad	Usos del Suelo	0,80	12,70
Biológica	Áreas Naturales Protegidas	Vegetación	0,70	11,11
Física	Profundidad de la Primera Napa	Geomorfología	0,60	9,52
Antrópica	Distancia al Borde Área Urbana	Usos Suelo, Accesibilidad	0,50	7,94
VIP: Valor de Importancia del Parámetro			6,30	100,00

Tabla 46. Valores de los VIP utilizados para ponderar las variables ambientales en la determinación de la aptitud ambiental integral

Si bien el rango de variación posible de los IAA es de 0 a 1, esto normalmente no sucede ya que por tratarse de un índice que proviene de una multiplicación entre otros (que varían entre 0 y 1), tiende a presentar valores más bajos (la distribución de los valores presenta un desplazamiento hacia los valores menores). Por eso, es conveniente reescalar los valores de IAA obtenidos llevando el máximo a 1 de forma tal de hacer más

sencilla la visualización de las áreas donde se esperan los mayores impactos ambientales (zonas no aptas o de baja aptitud).

A partir de estos valores relativizados del IAA se elaboró el mapa de aptitud ambiental integral del área de estudio agrupando la variación resultante en once categorías desde aptitud nula o restricción total (0.0) a máxima aptitud (1.0).

Para todos los procedimientos que involucraron elaboración de mapas y análisis espaciales, se utilizó un Sistema de Información Geográfica (GIS). La información digitalizada en CAD fue convertida como vectores poligonales para la elaboración de los mapas ambientales. El nivel de resolución utilizado para la elaboración de mapas fue de 27.48 m² (unidades pixel de 5.24 x 5.24 m).

4.7.4.2. Distribución de la Aptitud Ambiental Según Recursos

Desde el punto de vista geomorfológico, la mitad de la superficie considerada en el análisis (36.60 km²) presenta valores altos de aptitud (**Tabla 47**) para la instalación de un acueducto. Dicha superficie abarca un área continua hacia el norte y oeste de la región (**Mapa 1**), que es atravesada por áreas restrictivas que presentan una disposición lineal (tipo corredor), y que corresponden a bajos susceptibles de inundación. El resto del área considerada posee aptitudes no tolerables y restrictivas (aproximadamente el 26% y 15%, respectivamente) para la instalación de un acueducto.

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
0.9	36.60	44.09	36.60	44.09
0.3	21.53	25.94	58.13	70.03
0.0	12.36	14.89	70.49	84.92
Fuera del análisis	12.52	15.08	83.02	100.00

Tabla 47. Distribución de la aptitud ambiental según la geomorfología

Según las características geotécnicas de los suelos, la mayor parte de la superficie considerada (aproximadamente 54 km²) en el análisis presenta una aptitud tolerable para la instalación de un acueducto, tal como se observa en la **Tabla 48**. La zona de mayor aptitud (IAA = 0.8) se ubica hacia el norte y el oeste (**Mapa 2**) constituyendo una matriz continua con áreas localizadas de menor aptitud (IAA = 0.6). En una franja con dirección SO-NE se encuentra la zona de menor aptitud (IAA = 0.1), abarcando una superficie continua de 12.35 km². La misma presenta baja estabilidad de taludes y una susceptibilidad a la erosión de moderada a alta.

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
0.8	38.51	46.40	38.51	46.40
0.6	15.48	18.65	53.99	65.05
0.3	0.20	0.24	54.19	65.29
0.1	12.35	14.88	66.54	80.17
Fuera del análisis	16.46	19.83	83.00	100.00

Tabla 48. Distribución de la aptitud ambiental según las características geotécnicas de los suelos

La variable profundidad de la primera napa no constituye un factor restrictivo para la instalación de un acueducto. De hecho, el 100 % del área considerada en el análisis es apta (IAA = 1) o tiene valores de aptitud muy altos (IAA = 0.9) (**Tabla 49, Mapa 3**).

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
1	60.45	72.83	60.45	72.83
0.9	6.56	7.90	67.01	80.73
Fuera del análisis	15.99	19.27	83.00	100.00

Tabla 49. Distribución de la aptitud ambiental según la profundidad de la primera napa

Desde el punto de vista de las comunidades vegetales prácticamente el 90 % del área estudiada es apta para la instalación de un acueducto (**Tabla 50**). Dicha área constituye una matriz fragmentada en algunas partes por islas de superficie muy reducida y disposición lineal que presentan una aptitud no tolerable (IAA = 0.5) o restrictiva (IAA = 0) (**Mapa 4**). Las áreas restrictivas corresponden a vegetación nativa que, como puede observarse, se halla muy fragmentada y casi exclusivamente formando corredores en bordes de caminos y plantaciones.

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
1	74.45	89.68	74.45	89.68
0.5	1.84	2.21	76.29	91.89
0.3	0.57	0.68	76.86	92.57
0.1	3.92	4.72	80.78	97.29
0.0	2.25	2.71	83.02	100.00

Tabla 50. Distribución de la aptitud ambiental según la vegetación

Según la variable Áreas Protegidas, el 95.33 % del área estudiada es apta (IAA = 1) para la instalación de un acueducto (**Tabla 51**). Los 0.98 km² de aptitud restrictiva se localizan bordeando al río (**Mapa 5**) y corresponden a áreas protegidas proyectadas. Existe además un área con interés para su conservación de 2.89 km² (IAA = 0.1) que se localiza hacia el centro y en el extremo oeste de la región.

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
1	79.14	95.33	79.14	95.33
0.1	2.89	3.49	82.03	98.82
0.0	0.98	1.18	83.02	100.00

Tabla 51. Distribución de la aptitud ambiental según las áreas naturales protegidas

Si se tiene en cuenta el uso del suelo (**Tabla 52**), se ve que la mayor parte del área (64.27 km²) presenta aptitudes no tolerables (IAA < 0.5) y restrictivas (IAA = 0) para la instalación de un acueducto. Esto se debe a fundamentalmente a las restricciones que

impone el área urbana y a que prácticamente la mayor parte de la región presenta actividad agropecuaria. Las áreas aptas (IAA = 1) se hallan principalmente bordeando caminos (**Mapa 6**). Estas zonas son ideales para instalar el acueducto desde el punto de vista del uso del suelo debido a que, por un lado, ya se encuentran impactadas por ser áreas de servidumbre de caminos y, por otro, no requieren en general la expropiación de los terrenos.

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
1	18.45	22.23	18.45	22.23
0.6	0.30	0.36	18.75	22.59
0.5	1.84	2.21	20.59	24.80
0.4	17.89	21.55	38.48	46.35
0.3	35.30	42.52	73.78	88.87
0.0	9.24	11.13	83.02	100.00

Tabla 52. Distribución de la aptitud ambiental según el uso del suelo

Según la accesibilidad no hay áreas de aptitud no tolerable o restrictivas para la instalación del acueducto (**Tabla 53**), tal como se observa en el **Mapa 7** no hay sectores inaccesibles para la construcción y/o mantenimiento del mismo.

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
1	9.00	10.83	9.00	10.83
0.9	38.56	46.44	47.56	57.28
0.8	23.21	27.95	70.77	85.23
0.7	7.78	9.37	78.55	94.60
0.6	4.49	5.40	83.02	100.00

Tabla 53. Distribución de la aptitud ambiental según la accesibilidad

El 37.21 % del área considerada en el análisis (30.09 km²) presenta aptitudes altas (IAAs de 0.8 y 0.9) para la instalación de un acueducto según la distancia al borde del área urbana. Las áreas con IAA < 0.5 (no tolerables) ocupan una superficie continua en el centro del área estudiada (**Mapa 8**), por lo cual prácticamente cualquier traza potencial atravesaría áreas sensibles por su cercanía a la ciudad.

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
0.9	6.00	7.23	6.00	7.23
0.8	24.90	29.98	30.09	37.21
0.4	6.96	8.39	37.86	45.60
0.3	6.30	7.59	44.16	53.18
0.2	5.92	7.13	50.08	60.32
0.1	5.43	6.54	55.51	66.85
0.0	11.78	14.18	67.29	81.04
Fuera del análisis	15.74	18.96	83.02	100.00

Tabla 54. Distribución de la aptitud ambiental según la distancia al borde del área urbana

4.7.4.3. Distribución de la Aptitud Ambiental Global

Aproximadamente el 27 % del área situada al norte del río no es apta (IAA = 0) para la instalación de un acueducto (**Tabla 55**). Dicha superficie corresponde mayoritariamente al ejido urbano.

Las áreas de aptitud tolerable (IAA > 0.5) ocupan prácticamente el 54 % del área. Sin embargo, la zona apta se halla fragmentada por zonas restrictivas que presentan una disposición lineal, tipo corredor.

Aptitud	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²) acumulada	Área (%) acumulada
0.9	2.11	2.54	2.11	2.54
0.8	25.39	30.59	27.50	33.13
0.7	12.95	15.60	40.45	48.73
0.6	4.19	5.04	44.64	53.77
0.5	0.28	0.34	44.92	54.11
0.4	0.03	0.04	44.95	54.15
0.0	22.35	26.91	67.30	81.06
Fuera del análisis	15.72	18.94	83.02	100.00

Tabla 55. Distribución de la aptitud ambiental global

4.7.5. Identificación, Comparación y Selección de Trazas Alternativas Según la Aptitud Ambiental

Con el fin de aplicar los criterios de evaluación de aptitud ambiental, y a fines ilustrativos, se diseñaron cuatro trazas técnicas alternativas (**Mapa 9**) que se supone tienen una valoración económica comparable y poseen las características que se describen a continuación:

Traza 1: conecta los sitios de inicio y fin del acueducto atravesando la ciudad, siendo en la mayor parte de su recorrido paralela a 50 m de los caminos principales.

Traza 2: conecta los sitios de inicio y fin del acueducto en forma recta y es, por lo tanto, la traza que atraviesa la menor superficie absoluta de terreno.

Traza 3: conecta los sitios de inicio y fin del acueducto sin atravesar la ciudad, por la zona Norte. Su recorrido atraviesa, en general, campos agrícolas.

Traza 4: conecta los sitios de inicio y fin del acueducto sin atravesar la ciudad, su recorrido acompaña los caminos principales a 50 m de los mismos (es la traza más larga, por lo cual es la que atraviesa la mayor superficie absoluta de terreno).

La comparación y evaluación de la aptitud ambiental de las trazas se efectuó mediante la siguiente ecuación:

$$IAA_{traza} = \sum A_i \cdot P_i / A_{traza}$$

Siendo:

A_i = área (en Km^2) con aptitud ambiental i (0-máximo valor posible);

P_i = valor de la categoría de aptitud i (0-1);

A_{traza} = área total impactada por la traza (se consideró un área de influencia de 50 metros a cada lado de la traza).

Las áreas afectadas de las cuatro trazas son: 1.39 km^2 (Traza 1), 1.15 km^2 (Traza 2), 1.36 km^2 (Traza 3) y 1.42 km^2 (Traza 4).

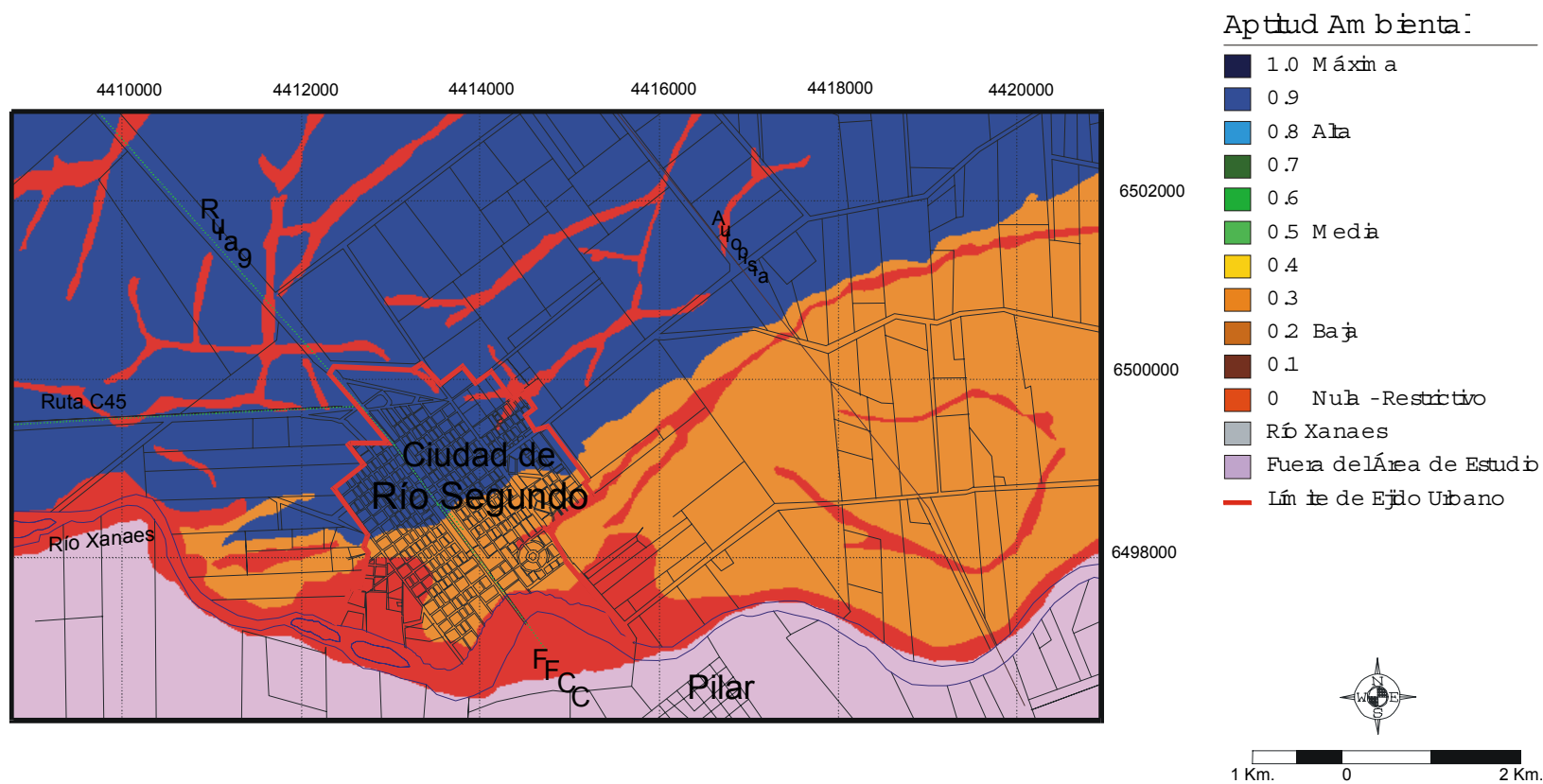
El IAA_{traza} representa una valoración de aptitud ambiental promedio por unidad de superficie, y varía entre 0 (todas las unidades espaciales de la traza presentan aptitud nula) y 1 (todas las unidades espaciales presentan la máxima aptitud posible). De esta manera, cuanto mayor sea el valor del IAA_{traza} menor serán los impactos potenciales generados por dicha traza.

En la **Tabla 56** se observan los resultados de los IAA_{traza} para las cuatro trazas analizadas. A partir de estos resultados, y de la interpretación del **Mapa 9** puede concluirse que:

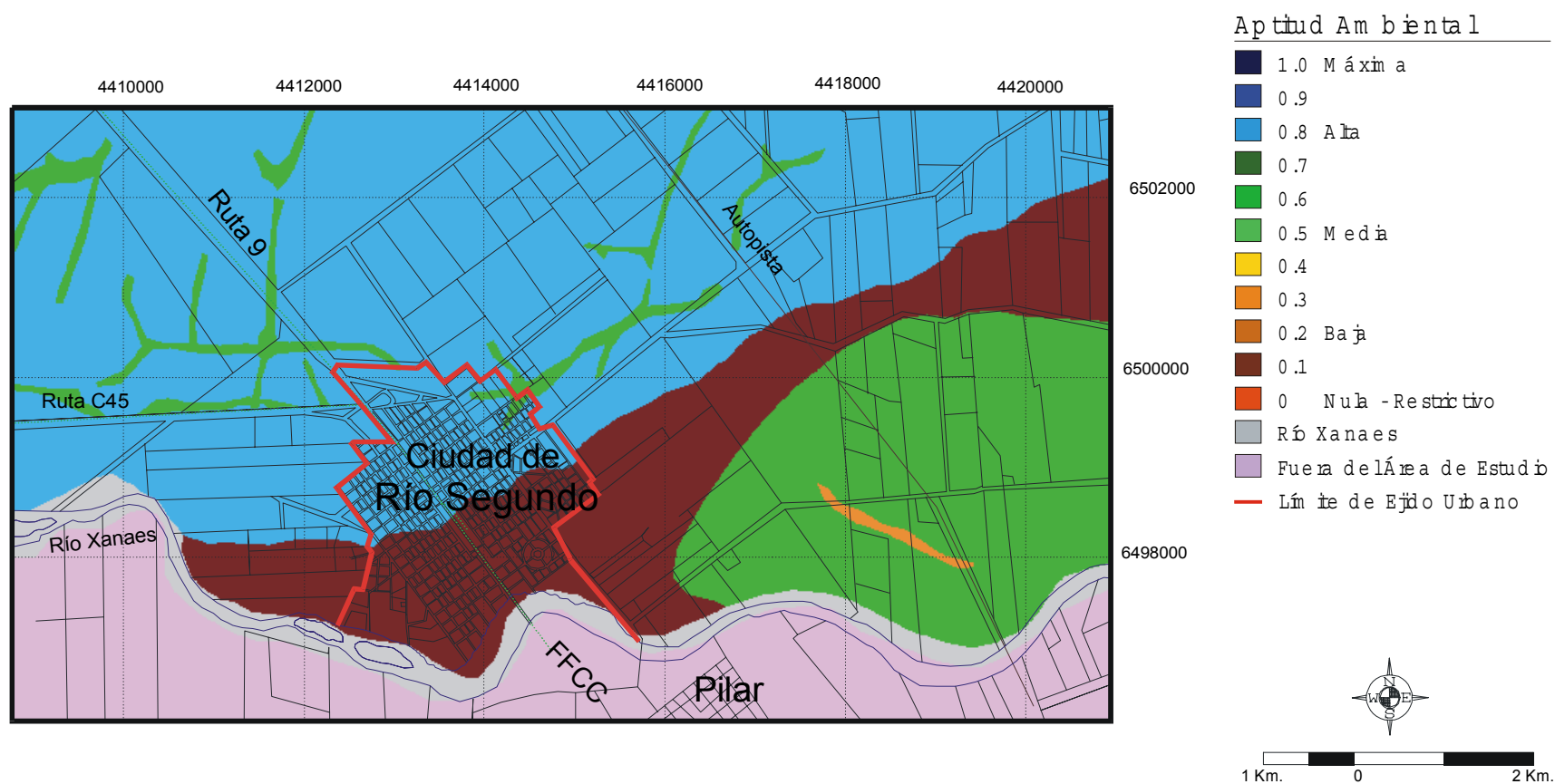
- 1). Las Trazas 1 y 2 son las que generarían mayores impactos ambientales en el área estudiada ya que en gran parte de su recorrido atraviesan superficies restrictivas (aptitud = 0), particularmente en el área urbana.
- 2). La Traza 1 presenta un valor de aptitud más bajo que la Traza 2 debido a su mayor longitud dentro del área urbana.
- 3). Las Trazas 3 y 4 constituyen las mejores alternativas desde el punto de vista ambiental para la instalación del acueducto. La Traza 4, a pesar de ser la más larga, es la que menos impactos potenciales generaría ya que posee el mayor valor de IAA.
- 4). Si bien no se observa una gran diferencia en el valor de IAA entre ambas trazas, la Traza 4 constituiría la mejor opción ya que, a diferencia de la Traza 3, sigue el recorrido de los caminos principales y no atraviesa viviendas rurales.
- 5). Cabe considerar que, además de las propuestas, existen otras trazas posibles que podrían atravesar zonas aún menos sensibles como puede observarse en el **Mapa 9**. Ello requeriría, sin embargo, análisis más detallados los cuales habría que llevar a cabo en un estudio real.

Aptitud	Traza 1	Traza 2	Traza 3	Traza 4
0.9	0.06 km^2	0.07 km^2	0.11 km^2	0.12 km^2
0.8	0.34 km^2	0.72 km^2	0.95 km^2	1.04 km^2
0.7	0.21 km^2	0.03 km^2	0.07 km^2	0.09 km^2
0.6	0.17 km^2	0.00 km^2	0.02 km^2	0.01 km^2
0.5	0.02 km^2	0.00 km^2	0.00 km^2	0.00 km^2
0.0	0.59 km^2	0.33 km^2	0.21 km^2	0.16 km^2
IAA traza	0.42	0.57	0.68	0.71

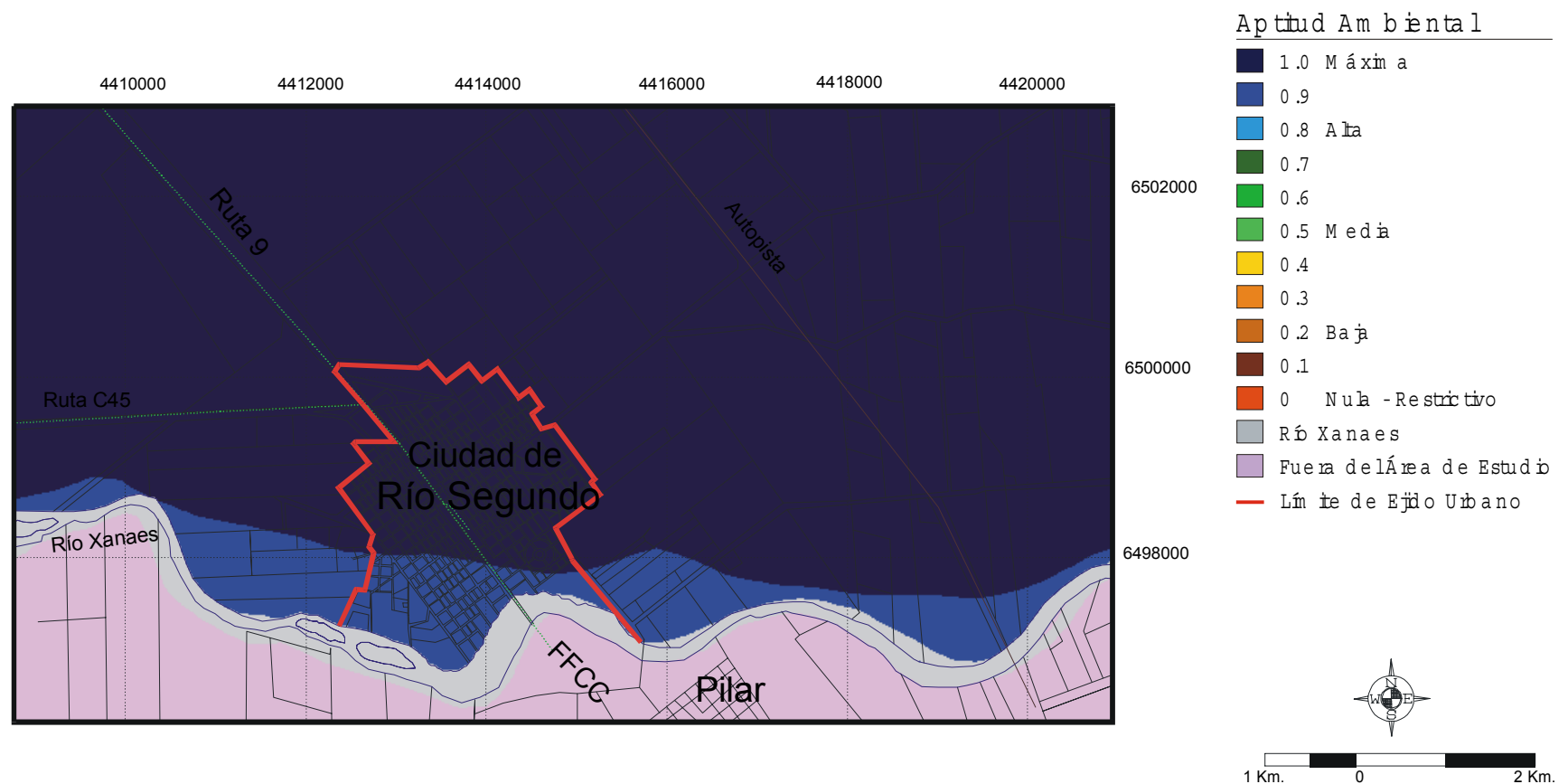
Tabla 56. Aptitud ambiental global para las trazas alternativas



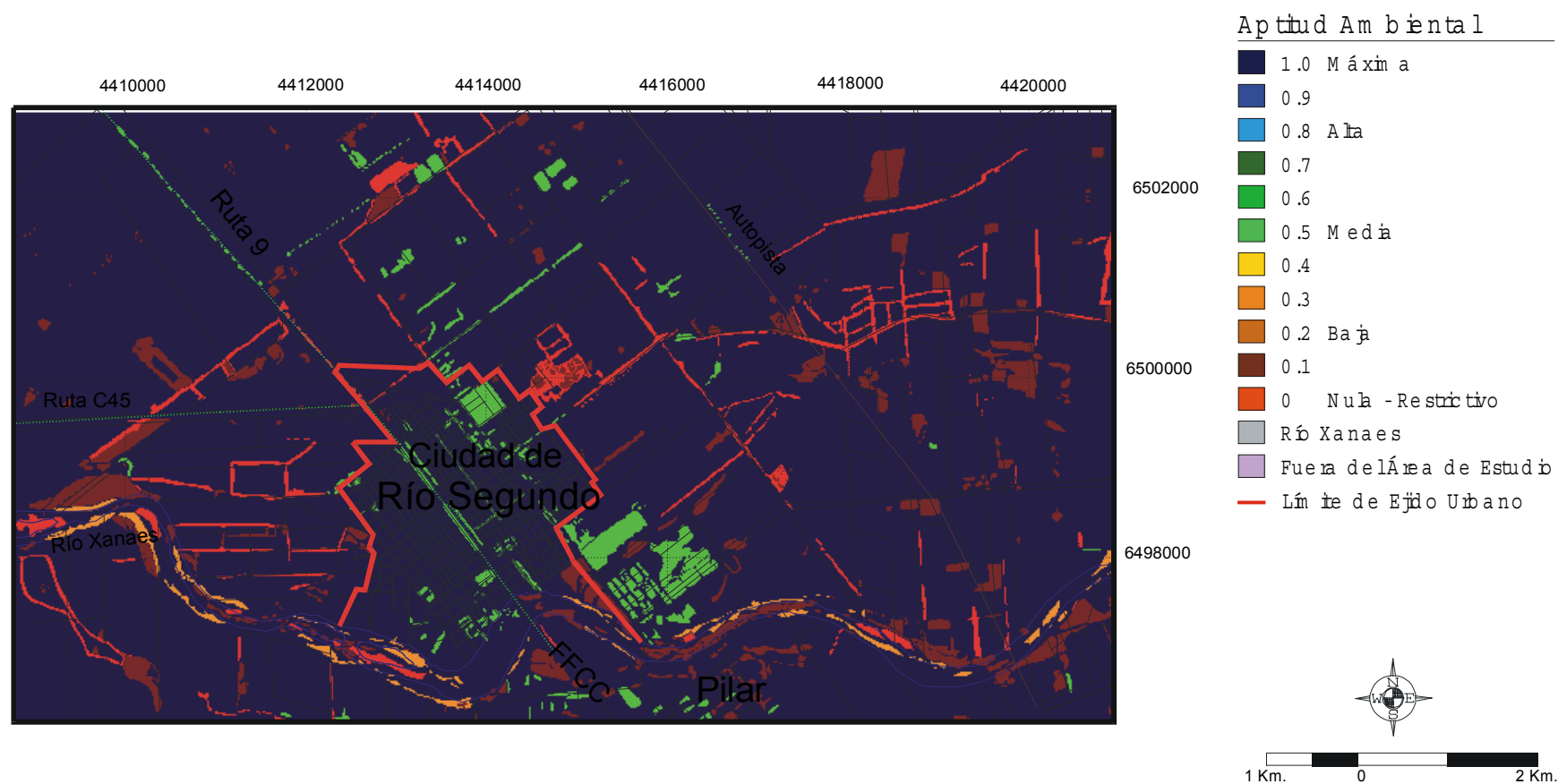
Mapa 1. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la geomorfología



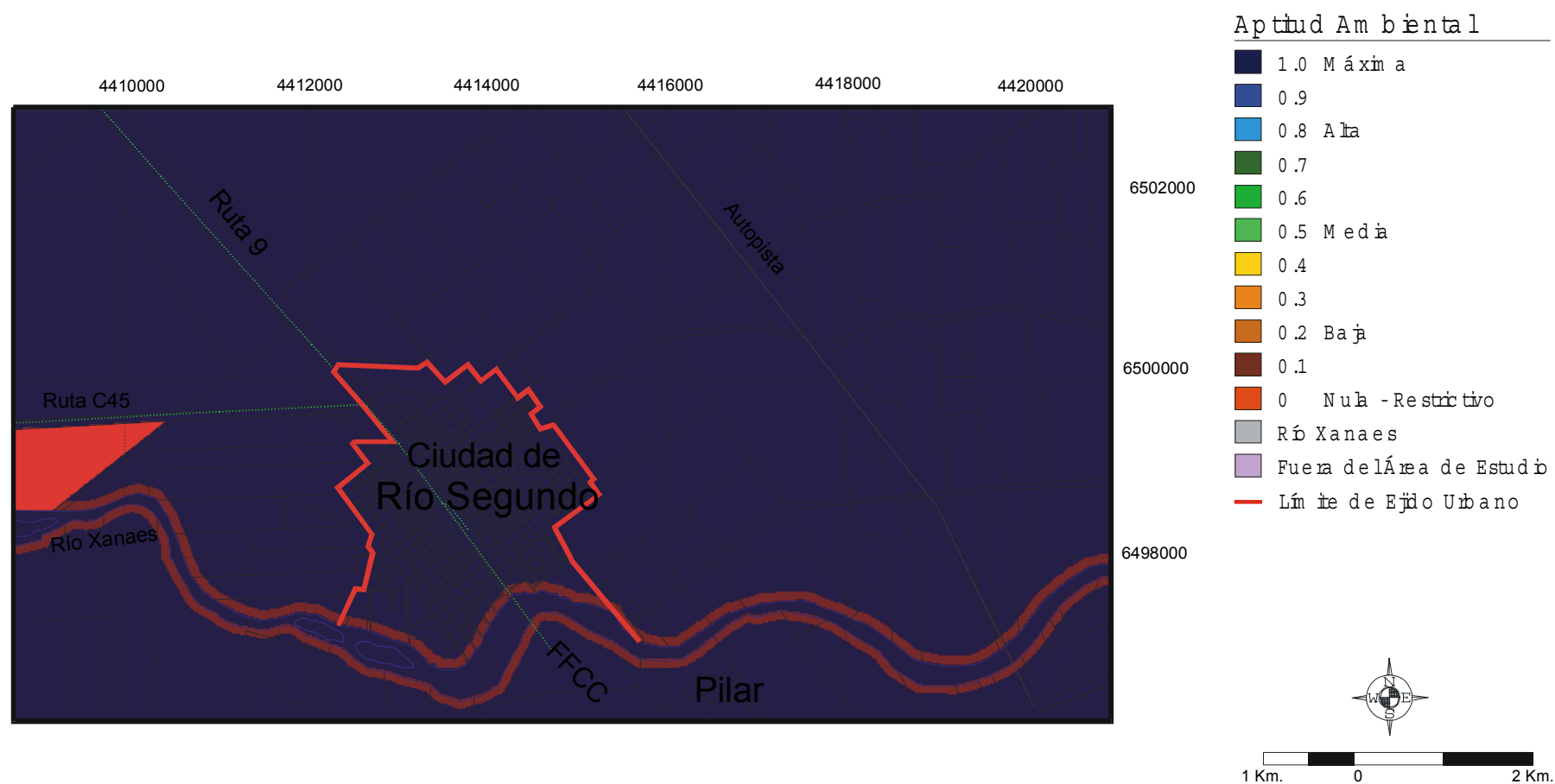
Mapa 2. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según las características geotécnicas de los suelos



Mapa 3. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la profundidad de la primera napa



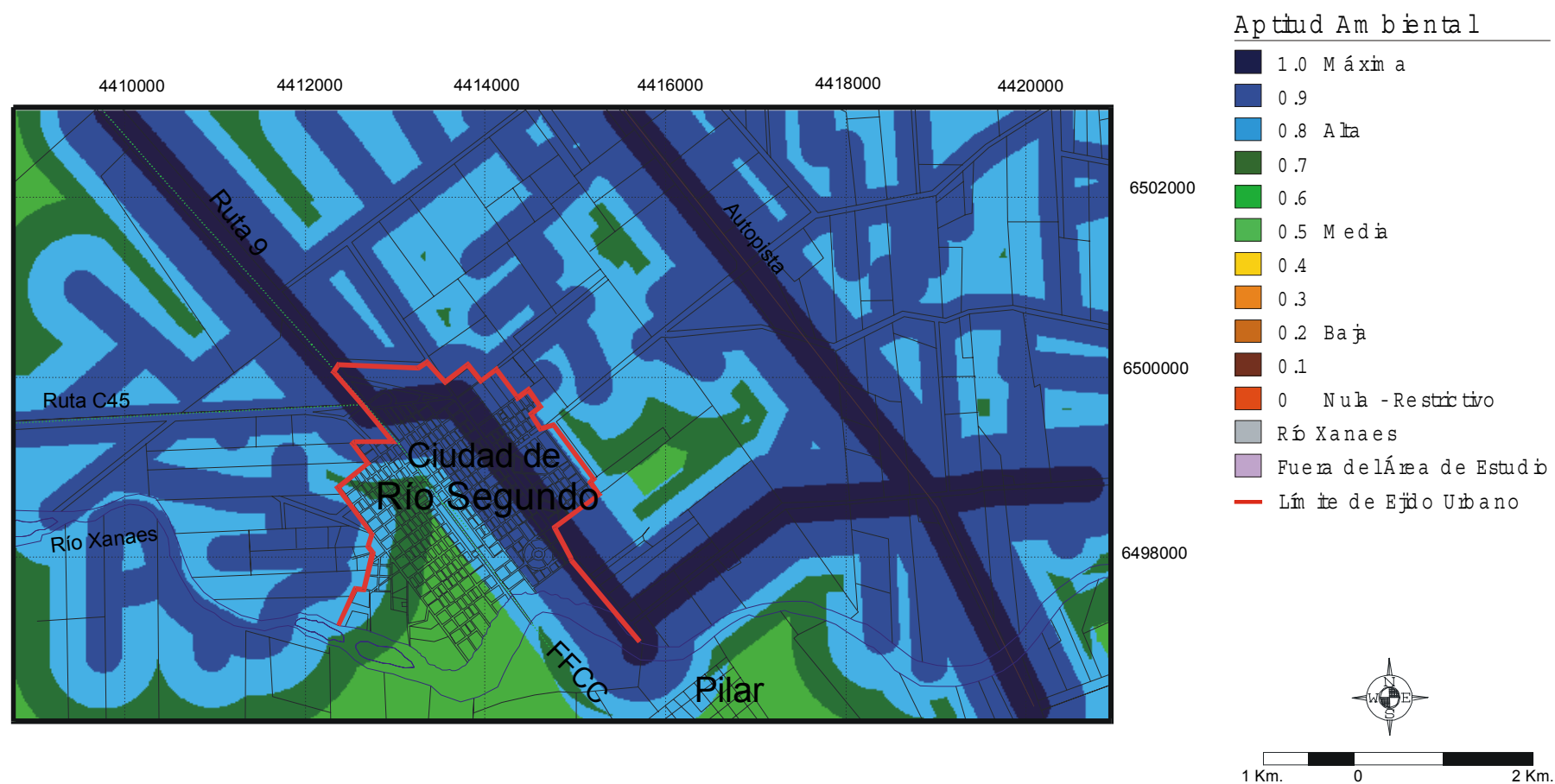
Mapa 4. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la vegetación



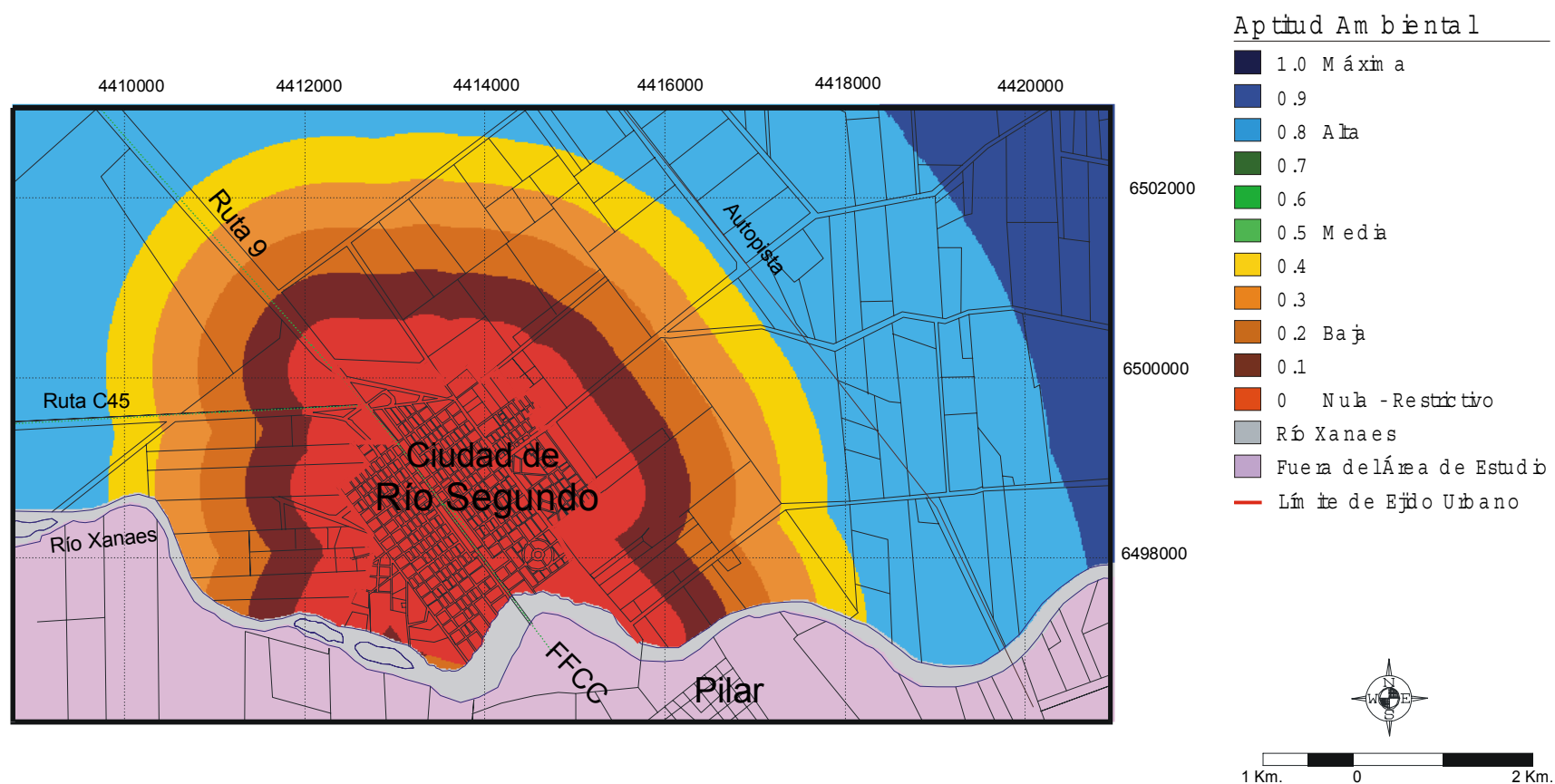
Mapa 5. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según las áreas naturales protegidas



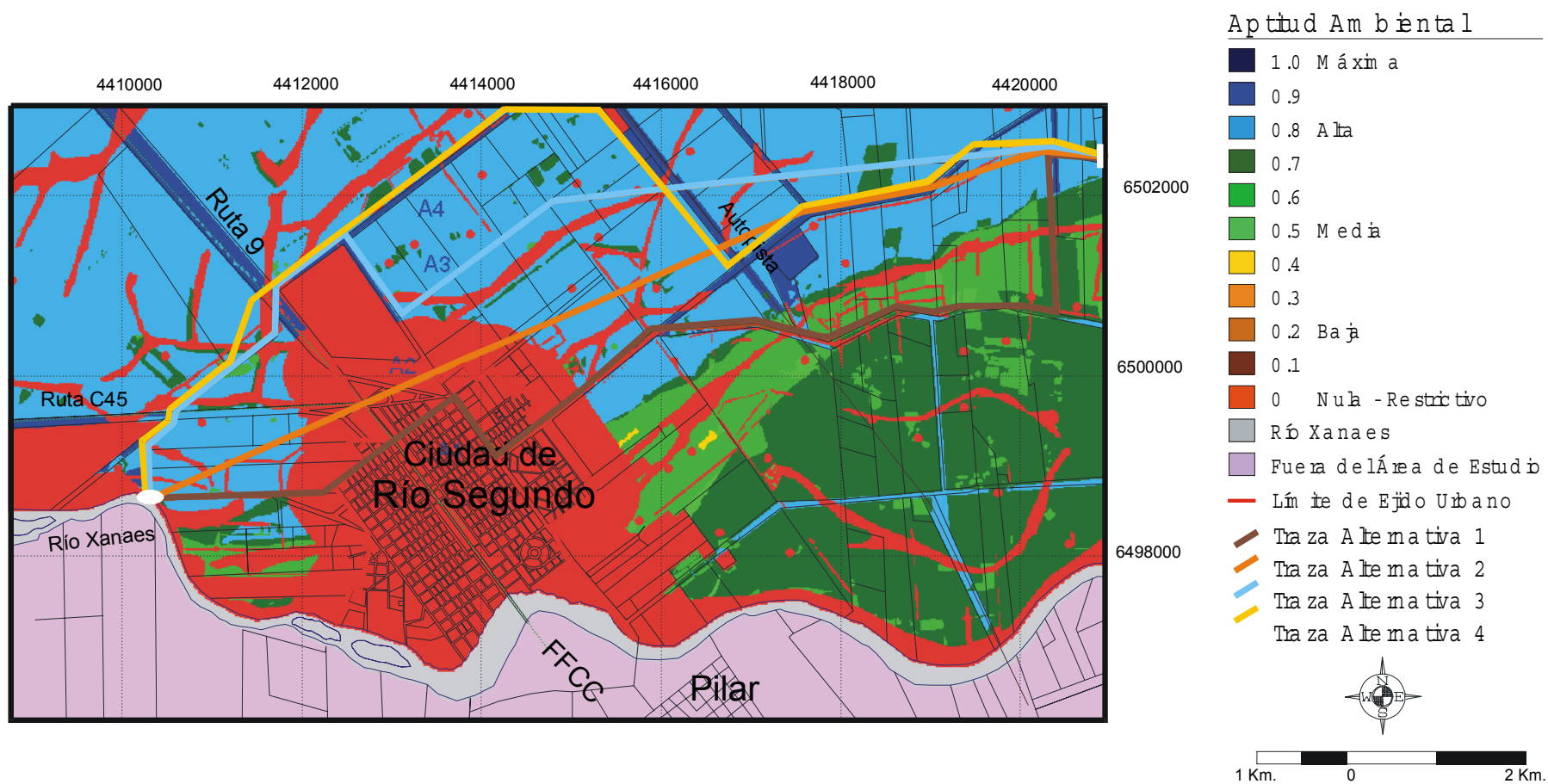
Mapa 6. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según el uso del suelo



Mapa 7. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la accesibilidad



Mapa 8. Valoración de la aptitud ambiental para la instalación de un acueducto según la distancia al borde del área urbana



Mapa 9. Mapa de aptitud ambiental integral para la instalación de un acueducto. ubicación de trazas alternativas

4.8. MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA IMPACTOS ABIÓTICOS

4.8.1. *Impactos por Captación de Agua de la Fuente*

La mayoría de los métodos para evaluar los impactos generados por la captación en los sistemas de abastecimiento de agua potable son métodos que se utilizan tanto para predecir la magnitud de los mismos como para prevenir, monitorear o controlar la evolución de los factores que pueden generarlos una vez que el sistema de captación se encuentra en funcionamiento. Es decir, ya son utilizados en los estudios previos que se realizan para conocer el funcionamiento del sistema a explotar. Por lo tanto, varios de ellos se encuentran descritos, con mayor o menor detalle, en el Capítulo V. "Hidrogeología".

Los distintos métodos mencionados generalmente están relacionados entre sí, dependiendo unos de otros, muchas veces aplicándose en conjunto (por ejemplo, superponer los resultados de los cálculos del área de influencia del bombeo a redes de flujo). Esto dificulta realizar una separación marcada de los distintos métodos, por lo que la misma fue hecha simplemente a fines de intentar hacer más clara su descripción.

La utilización de modelos (como el MODFLOW o el Aquifer Test), ya sea para sistemas de agua subterránea o superficial, es un método muy utilizado ya que al predecir el comportamiento del sistema estudiado permite evaluar una gran cantidad de impactos de diversas características, como en los que se utilizan balances tanto para aguas subterráneas y/o superficiales, y los que implican ensayos de bombeo. Lamentablemente, el buen funcionamiento de un modelo requiere de un gran caudal de información que no siempre se encuentra disponible al comenzar un emprendimiento. Sin embargo resulta de gran utilidad contar con uno, aunque sea con poca información de base, e ir ajustándolo a medida que el caudal de información aumenta.

Los impactos relacionados con la hidrodinámica subterránea, como su relación con las aguas superficiales o el comportamiento hidráulico de los acuíferos, pueden ser analizados mediante la utilización de métodos hidrodinámicos que permiten evaluar las variaciones en los niveles hidráulicos del sistema. Muchas veces se los utiliza junto con los GIS para identificar con más claridad las áreas que presentan riesgos mayores.

Para impactos que involucran interrelaciones entre distintos componentes de un sistema, como por ejemplo los efectos en el caudal de un río o de manantiales por explotación de un acuífero y viceversa, se realizan balances hídricos de las distintas partes del sistema para analizar la influencia de su explotación en los demás componentes. Como un caso especial de balance hídrico se encuentra el cálculo de reservas, utilizado para evaluar impactos tales como la sobreexplotación del recurso.

Para evaluar los impactos relacionados en forma más directa con la obra de captación en sí, como ser la formación de conos de depresión o la eficiencia de los pozos, se utilizan métodos específicos que se fundamentan en la teoría de los ensayos de bombeo, ampliamente descrita en el Capítulo V de Hidrogeología. También se suelen representar las áreas de influencia de bombeo mediante los GIS, para su mejor identificación.

Los impactos debidos a contaminación por aguas saladas, ya sean de origen marino o provenientes de formaciones más profundas, son analizados mediante métodos que estudian la posición y evolución de la interfaz agua salada - agua dulce.

Con respecto a los impactos relacionados con problemas de contaminación del recurso, incluyendo la salinización, se elaboran mapas de riesgo y vulnerabilidad, que pueden ser utilizados en forma conjunta con mapas hidroquímicos e hidrodinámicos para así analizar los posibles peligros existentes.

Como se dijo en un principio, además de los métodos específicos mencionados, en la mayoría de los casos la evaluación de los impactos se verá facilitada por la elaboración de modelos del sistema explotado.

A continuación se da un listado de los impactos explicados en la Sección 3 que pueden ser evaluados y/o monitoreados mediante el uso de los métodos que se describen en las siguientes secciones.

Impacto	
12.	Impacto sobre la calidad del agua debido a la mala ubicación de las captaciones.
13.	Impacto sobre la calidad del agua por disposición de lodos y/o desechos industriales.
18.	Modificaciones del cuerpo de agua y alteración de la hidrodinámica que afectan los usos antrópicos.
19.	Disminución de la recarga del acuífero local.
20.	Impactos sobre la recarga de cuerpos de agua cerrados aguas debajo de la captación.
21.	Disminución del volumen de descarga al mar.
22.	Bajo rendimiento de la explotación debido a un cálculo equivocado del caudal seguro del curso.
23.	Aumento de la sedimentación aguas debajo de la captación.
24.	Impacto sobre el nivel en cuerpos de agua lénticos.
25.	Impacto sobre el caudal de ríos que nacen en cuerpos de agua lénticos explotados.
26.	Contaminación a través del acuífero.
32.	Disminución del caudal de manantiales o acuíferos por explotación de otro asociado hidráulicamente.
33.	Disminución del caudal de un curso, o de la recarga en un cuerpo de agua léntico.
34.	Formación de un cono de depresión o embudo de bombeo en una perforación.
35.	Interferencia de pozos (campos de bombeo o baterías de pozos).
36.	Baja eficiencia del pozo debido a una mala ubicación de los filtros.
37.	Problemas de rendimiento del pozo de abastecimiento (durante su operación).
38.	Variación en la relación agua superficial – agua subterránea.
39.	Modificación del comportamiento hidráulico en acuíferos confinados o semiconfinados.
40.	Intrusión marina.
41.	Formación de conos salinos.
42.	Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras.
43.	Disminución de la porosidad y subsidencia.
44.	Riesgos por contaminación de los acuíferos con líquidos cloacales.
46.	Sobreexplotación y agotamiento del recurso.
48.	Impacto sobre el balance hídrico por disminución de recarga en fuentes superficiales y/o subterráneas.

Tabla 57. Impactos explicados en la Sección 3 (Tabla 9) que pueden ser evaluados y monitoreados mediante métodos específicos para impactos generados por la captación de agua de la fuente

4.8.2. Balance Hídrico

Como se menciona en el Capítulo V, Sección 1.6.2., el balance hídrico consiste en la aplicación del principio de la conservación de masa a una cierta región definida por unas determinadas condiciones de contorno.

La ecuación general del balance (Custodio y Llamas 1983) en una región dada, en un cierto intervalo de tiempo, viene dado por:

$$P + Q_{se} + Q_{te} - E - Q_{ss} - Q_{ts} - \Delta S = \varepsilon$$

donde,

P = aportación pluviométrica, incluye la lluvia y la nieve y otras formas de precipitación, como la condensación y el rocío, que generalmente son despreciables;

Q_{se} = caudal superficial entrante;

Q_{te} = caudal subterráneo entrante;

E = evapotranspiración real;

Q_{ss} = caudal superficial saliente;

Q_{ts} = caudal subterráneo saliente;

ΔS = variación de almacenamiento (final - inicial), incluye la variación de agua almacenada (reserva) en los acuíferos, en el suelo y zona no saturada, en los lagos naturales y artificiales, en los cauces, en las acumulaciones de hielo y nieve, etc.;

ε = error del balance.

La propia idea de balance supone la medida independiente de cada uno de los términos de la ecuación del balance. Como en toda medida física, se tienen errores inevitables y por lo tanto existe un error de cierre (ε) función de los errores en los diferentes términos.

Algunos de estos términos se pueden eliminar si su valor es cero o muy pequeño, o bien se pueden desglosar en otros varios que consideren diferentes entradas y salidas, varios acuíferos, varias formas de almacenamiento, etc. Dentro de la región es posible formar subregiones en las que se pueden establecer balances parciales que deben encajarse entre sí; tales pueden ser los balances de un cierto acuífero o de un lago, con cuidado de no contabilizar dos veces un mismo término, de no olvidar otro, o de establecer las correctas conexiones entre unas regiones y otras (lo que es salida de una puede ser entrada total o parcial de otra).

El intervalo de tiempo del balance es importante y debe seleccionarse con cuidado, en función de los resultados que se pretenden obtener. Cuando el balance se realiza tomando un intervalo de varios años, en general los cambios en el almacenamiento resultan muy pequeños frente a los otros términos del balance y pueden despreciarse. Tal sucede en sistemas no influenciados por el hombre. No obstante, cuando se están explotando reservas de agua, o sea cuando los niveles piezométricos descienden continuamente debido a una extracción intensa como por ejemplo en las ciudades de La

Plata (Auge y Bucich 1995) o Mar del Plata (Hernández *et al.* 1991), puede suceder que el cambio de almacenamiento sea un valor notable e incluso dominante. Por ello, antes de tomar la decisión de despreciar ΔS , debe conocerse el sistema y tener suficiente información sobre la evolución piezométrica.

Cuando el balance promedio, o en un intervalo largo, es poco significativo, se debe recurrir al balance en períodos más cortos, en los que el cambio de almacenamiento puede tener un peso importante.

Cuando se realiza un balance para obtener una variable por diferencia, el intervalo de tiempo debe elegirse de modo de minimizar los errores que se introducen. Esto sucede por ejemplo en los balances para deducir la infiltración profunda en zonas áridas y semiáridas (como la Patagonia o la Puna), en las que gran parte de las precipitaciones se concentran en unas pocas tormentas a lo largo del año. En estos casos, si se trabaja con valores mensuales se cometen errores grandes que disminuyen trabajando con una serie concatenada de balances diarios.

La elección de los límites de la región en la cual se realiza el balance puede simplificar mucho los términos de entrada y salida; por ello conviene tomar límites que correspondan a zonas impermeables o poco permeables, a divisorias de aguas superficiales y/o subterráneas, líneas de costa u orillas de ríos o lagos (nivel constante), etc., así como aquellos que correspondan a zonas uniformes en lo que respecta a pluviometría, vegetación, características del terreno, variación de niveles, etc.

Para primeras estimaciones en la obtención de los valores de los términos del balance pueden utilizarse los datos promedios publicados, por ejemplo en el Boletín Climatológico del Servicio Meteorológico Nacional. Para cálculos más precisos es necesario recurrir a mediciones de los diferentes términos. Las precipitaciones se miden con pluviómetros. La escorrentía fluvial se obtiene a partir de los datos de aforo. Con frecuencia es interesante, en especial para los balances de aguas subterráneas, separar la escorrentía superficial de la escorrentía subterránea mediante el análisis de hidrogramas u otro método. La determinación de la evaporación de superficies de agua libre, de nieve o de hielo se puede realizar mediante evaporímetros, balances térmicos, métodos aerodinámicos o mediante fórmulas empíricas. La determinación de la evapotranspiración del terreno se puede realizar mediante lisímetros, balances de agua en el suelo, balances de calor, métodos aerodinámicos y métodos que utilizan fórmulas semiempíricas o empíricas más o menos aproximadas y que requieren mayor o menor número de datos, tales como las de Penman, Blaney-Criddle, Thornthwaite, etc. Se pueden calcular valores, anuales, mensuales e incluso diarios, con la aproximación propia de la fórmula en las condiciones en que se aplique, y de los datos necesarios. Los distintos tipos de determinaciones tanto de evaporación como de evapotranspiración se encuentran ampliamente descriptos en Custodio y Llamas (1983). Al considerar el cambio en el almacenamiento, debe considerarse el cambio en el volumen de agua en lagos, embalses, incluso en la propia red fluvial si se trata de ríos anchos y de flujo lento (cuando el intervalo de tiempo del balance es corto), en hielos y nieves, en el suelo y en los acuíferos y acuitardos.

Estas determinaciones suponen el conocimiento de las variaciones del nivel del agua y las superficies de esas masas de agua, debiéndose a veces efectuar el cálculo por zonas. Para conocer la variación de la reserva del suelo es preciso tener datos de la humedad con respecto a la profundidad en un número suficiente de puntos. La variación de la reserva en los acuíferos exige conocer las variaciones de la superficie hidráulica y los valores de los parámetros del acuífero correspondientes al intervalo de tiempo que se considere. En ciertos casos no debe olvidarse que los acuitardos pueden contener

grandes volúmenes de agua drenable lentamente (relacionados con los problemas de subsidencia), cuya variación puede afectar mucho el balance y que muchas veces es de difícil medida.

4.8.2.1. Balance de Aguas Superficiales

El balance general de aguas superficiales puede escribirse como:

entrada superficial - salida superficial + escurrimiento superficial en el terreno + Q_m (salida de agua subterránea en manantiales) - IR (infiltración procedente de aguas superficiales) + DR (descarga de agua subterránea al agua superficial) - variación en el almacenamiento de agua en el cuerpo de agua superficial = error.

Esto corresponde a la ecuación del balance general, pero aplicada a un cuerpo de agua superficial.

4.8.2.2. Balance de Aguas Subterráneas

El balance general de un acuífero se puede escribir, con los diferentes términos expresados en las mismas unidades, como:

entradas - salidas - variación en almacenamiento = error

o sea,

$$IP + IR + Q_{te} + Q_e + RA - (DR + ET + Q_{ts} + Q_s + Q_m + B) - \Delta s = \varepsilon$$

Donde,

IP = infiltración en el terreno procedente de la precipitación;

IR = infiltración procedente de aguas superficiales;

Q_{te} = entrada subterránea por límite;

Q_e = entrada subterránea de otros acuíferos;

RA = recarga artificial;

DR = salida (descarga) de agua subterránea al agua superficial;

ET = evapotranspiración de agua del terreno;

Q_{ts} = salida de agua subterránea por los límites;

Q_s = salida de agua subterránea a otros acuíferos;

Q_m = salida de agua subterránea en manantiales;

B = extracción de agua subterránea (bombeo);

Δs = variación en el almacenamiento (final - inicial);

ε = error de cierre.

También puede escribirse como:

(entradas subterráneas - salidas subterráneas) + (infiltración de lluvia en el terreno - evapotranspiración) + (entradas superficiales - salidas superficiales) + (recarga artificial - bombeo) - variación en el almacenamiento (incluyendo la humedad del suelo) = error.

o sea

$$(Q_{te} + Q_e - Q_{ts} - Q_s) + (IP - ET) + (IR - DR - Q_m) + (RA - B) - \Delta s = \varepsilon$$

$$a + b + c + d - \Delta s = \varepsilon$$

El término *a* se puede calcular si se conocen las transmisividades, los gradientes piezométricos y la longitud del contorno afectado (por medio de ensayos de bombeo y métodos hidrodinámicos).

El término *c* se deduce a partir de aforos en ríos y manantiales; no obstante, la parte correspondiente a la recarga y descarga en los cauces no siempre es de fácil evaluación puesto que los valores a medir son a veces menores que el margen de error de los aforos, o de los términos del balance de aguas superficiales. Si no es posible el cálculo de ese balance, puede procederse a estimar IR y DR a partir de métodos hidrodinámicos (permeabilidades y gradientes).

El término *d* se obtiene del inventario de puntos de agua. Es importante tener en cuenta el retorno de las aguas explotadas no consumidas a los acuíferos o su integración en los caudales de aguas superficiales. Ello supone establecer las oportunas eficiencias de riego, infiltración de canales y de desagües, u otros usos del agua extraída.

En el caso de áreas urbanas, se debe considerar que las pérdidas de la red de distribución pueden constituir una recarga importante, lo mismo que las de redes de saneamiento.

Suponiendo que no hay variación del almacenamiento de humedad del suelo, el término *b* = IP - ET, sería la infiltración eficaz o infiltración profunda (Inf), al que muchas veces se alude como recarga. Puede deducirse del balance por diferencia o calcularse mediante un balance de agua en el suelo. Así se puede escribir:

$$Inf = IP - ET = P - ES - E - RS - ET$$

donde,

P = pluviometría;

ES = escorrentía superficial;

E = evaporación en superficie;

RS = retención superficial;

ET = depende del tipo de terreno, vegetación y estado de humedad del suelo.

Cuando varía el contenido de humedad en el suelo:

$$Inf = IP - ET + \Delta M = P - ES - E - RS - ET + \Delta M$$

siendo ΔM la variación de la humedad en el suelo (antes - después), variación que forma parte del valor ΔS .

El valor de la infiltración eficaz (Inf) también puede calcularse por métodos hidrodinámicos a partir de las fluctuaciones de niveles piezométricos, mediante lisímetros, técnicas isotópicas o balance de cloruros.

Como conclusión vale hacer notar que la precisión de los balances aumenta si se realizan los cálculos de los diferentes términos no accesibles a la medida directa, mediante diversos métodos independientes.

4.8.3. Cálculo de Reservas

Un tipo de balance hídrico muy utilizado es el balance de aguas subterráneas con el objetivo de calcular el volumen de agua que puede ser explotado y evaluar el impacto de la explotación sobre las reservas.

La reserva es el volumen de agua almacenado en una unidad hidrogeológica (acuífero) pero también se habla de reserva en el caso de otras rocas o sedimentos (arcillas o limos arenosos, o arcillas arenosas). Así se pueden distinguir dos tipos de reservas:

- 1). Reserva total: volumen de sedimentos considerados por la porosidad total del acuífero.
- 2). Reserva efectiva: volumen de sedimentos considerados por la porosidad efectiva del acuífero.

En el caso de sedimentos finos, esta reserva de agua no puede ser extraída directamente, pero puede cobrar importancia cuando varían los niveles piezométricos de los acuíferos, especialmente al ser explotados. En esta situación las reservas contenidas en las capas de sedimentos finos se puede movilizar ocasionando serias consecuencias como la subsidencia, como se explicó anteriormente.

Según el tipo de acuífero considerado, las reservas se pueden clasificar como:

a). En acuíferos libres:

Reservas fluctuantes, reguladoras o generatrices: se llama así al volumen de agua comprendido entre las fluctuaciones de nivel de la superficie freática. Se consideran las fluctuaciones ocurridas dentro del año hidrogeológico debido a los períodos de exceso (nivel freático máximo) y déficit (nivel freático mínimo) en el balance. Los niveles freáticos máximo y mínimo (niveles estáticos) no son fáciles de determinar y se pueden llegar a conocer gracias al monitoreo de pozos. Sin embargo, es difícil establecer la fluctuación media ya que depende del período de tiempo considerado (en años hidrogeológicos) y

los niveles pueden presentar fluctuaciones no sólo estacionales sino también plurianuales. La reserva fluctuante se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$Rfl = f \cdot A \cdot pe$$

donde:

Rfl = reserva fluctuante;

f = fluctuación del nivel de la superficie freática (nivel máximo - nivel mínimo);

A = área considerada;

pe = porosidad efectiva.

Esta reserva fluctuante es la que se puede aprovechar sin perjudicar la disponibilidad de agua en un acuífero.

Reservas permanentes o geológicas: se llama así al volumen de agua estable presente en el acuífero. Se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$Rp = e \cdot A \cdot pe$$

donde:

Rp = reserva permanente;

e = espesor estable (medido desde el piso del acuífero hasta el nivel freático mínimo);

A = área considerada;

pe = porosidad efectiva.

Reservas totales = es la suma de las reservas fluctuantes y las permanentes.

Reservas explotables: son las que se pueden extraer sin deteriorar el acuífero. Generalmente corresponden a las reservas fluctuantes ya que representan la recarga anual. Como el cálculo de los distintos tipos de reservas depende del período de tiempo considerado, es muy importante contar con datos de niveles de agua de varios años. De ahí la importancia de la recopilación de datos existentes y la generación de archivos de pozos.

b). En acuíferos semiconfinados y confinados

Reserva permanente o geológica: es el volumen del acuífero por la porosidad efectiva. Esta reserva siempre es mayor que las reservas bajo confinamiento. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Rp = e \cdot A \cdot pe$$

donde:

Rp = reserva permanente;

e = espesor del acuífero (entre piso y techo);

A = área considerada;

p_e = porosidad efectiva.

Reserva bajo confinamiento: corresponde al volumen de agua que se encuentra bajo confinamiento. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_c = h \cdot A \cdot S$$

donde:

R_c = reserva bajo confinamiento;

h = distancia del nivel piezométrico con respecto al techo del acuífero;

A = área considerada;

S = coeficiente de almacenamiento.

Reservas totales: es la suma de las reservas bajo confinamiento y las permanentes.

Reservas explotables: son las que se pueden extraer sin deteriorar el acuífero. Generalmente corresponden a las reservas bajo confinamiento ya que no es aconsejable modificar el comportamiento hidráulico del acuífero. Como el cálculo de los distintos tipos de reservas depende del período de tiempo considerado, es muy importante contar con datos de niveles de agua de varios años. De ahí la importancia de la recopilación de datos existentes y la generación de archivos de pozos.

Las limitaciones para la explotación están dadas por limitaciones de tipo técnicas o económicas (el bombeo se encarece cuando se profundiza el nivel del agua) y por el deterioro en la reserva del agua. Cuando se extrae más agua de la que ingresa al sistema se dice que hay sobreexplotación lo que puede traer consecuencias tales como salinización del acuífero, modificación de su comportamiento hidráulico, contaminación del recurso, subsidencia o agotamiento del recurso, impactos explicados anteriormente en la Sección 3.2.2. (Impactos durante la Etapa de Operación) de este Capítulo.

Una de las formas de evitar esta situación es no producir grandes depresiones en el nivel hidráulico de los acuíferos, por lo tanto, por ejemplo si se necesitan extraer $3\text{ m}^3/\text{h}$, conviene tener en funcionamiento tres pozos que extraigan $1\text{ m}^3/\text{h}$ cada uno y no un sólo pozo que extraiga todo el caudal requerido. Los costos extra que este tipo de diseño puedan generar son necesarios si se quiere utilizar apropiadamente los recursos y la capacidad de regulación de agua del acuífero en cuestión.

4.8.4. Ensayos de Bombeo

La metodología y fundamentos teóricos de los Ensayos de bombeo está ampliamente descrita en el Capítulo V. “Hidrogeología”, en las Secciones 1.5. “Hidráulica de Pozos” y 2.8. “Ensayos de Bombeo”, razón por la cual aquí sólo se mencionará su utilidad.

Se han desarrollado numerosas ecuaciones que relacionan el caudal de los pozos con la depresión de la superficie hidráulica y los parámetros hidráulicos de los acuíferos. En base a estas ecuaciones se pueden resolver distintos problemas:

- 1). De tipo local, como predecir el descenso del nivel de agua que se producirá en pozos vecinos o si en el futuro se abren nuevos pozos.
- 2). Evaluar la eficiencia de un pozo durante su etapa de operación.
- 3). De tipo regional, relacionado con la cantidad de agua que se puede extraer de una cuenca hidrogeológica.

Los fundamentos teóricos de los ensayos de bombeo también permiten realizar un diseño adecuado de la batería de pozos. El objetivo del diseño de la batería de pozos es obtener la cantidad de agua requerida por el menor costo, incluyendo el costo inicial de construcción de los pozos y tuberías, el costo de operación y mantenimiento y el costo de reemplazo de pozos.

El producto final del diseño es un plan que muestra la distribución y separación de los pozos y especificaciones que contienen los detalles de la construcción de los pozos, incluyendo la información del diámetro de los pozos, profundidad y posición de los filtros o partes sin entubar, el tipo de entubamiento y filtros, las características de las bombas, etc.

Los elementos clave en el diseño son:

- 1). La cantidad total de agua a obtener del campo de bombeo (demanda de agua)
- 2). El caudal de agua que puede ser extraído de cada pozo (lo que determina la cantidad necesaria de pozos).
- 3). La separación entre pozos.

El caudal de extracción para cada pozo depende de la transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero, la distancia a los límites laterales y su naturaleza, las características hidráulicas de las capas confinantes, el descenso “aconsejado” y el período de bombeo. Con respecto al descenso “aconsejado”, vale mencionar que para acuíferos confinados, normalmente éste no debe ser mayor que la distancia entre el nivel del agua antes del bombeo y el techo del acuífero, para evitar modificaciones en sus características hidráulicas. Para acuíferos libres, Heath (1983) comenta que normalmente se considera que es aproximadamente el 60% del espesor saturado. Pero en la determinación del valor de este descenso también se deben tener en cuenta otros factores como la relación agua superficial - agua subterránea y las fluctuaciones estacionales del nivel freático.

Una vez estimado el caudal de extracción individual se calcula la cantidad de perforaciones necesarias, de acuerdo a la cantidad total de agua que se necesita extraer con la batería de pozos. El siguiente paso es determinar la separación óptima entre los pozos, para lo cual se debe calcular el radio de influencia de la perforación. Todos estos cálculos se realizan utilizando las fórmulas adecuadas según el acuífero considerado que pueden ser consultadas en el Capítulo V Hidrogeología (Sección de Hidráulica de Pozos). A modo explicativo se puede mencionar que el radio de influencia depende de las características del acuífero y puede ser creciente con el tiempo transcurrido desde el

comienzo del bombeo. Para acuíferos confinados su valor suele variar entre 200 y 10 000 m, mientras que en un acuífero libre son inferiores y suelen oscilar entre 10 y 500 m.

La determinación de la separación óptima entre las perforaciones involucra aspectos tanto hidrológicos como económicos.

Cuando los pozos de bombeo se ubican relativamente cerca, el bombeo en uno de ellos genera descensos en los demás. Los descensos son aditivos, de modo que el descenso total en un pozo de bombeo es igual a su propio descenso más los descensos generados en esta ubicación por los otros pozos de bombeo. El descenso en pozos de bombeo generados por extracciones de otros pozos de bombeo se conoce como interferencia de pozos.

Con respecto al aspecto económico, en el diseño del campo de bombeo el aumento en el costo de bombeo debe ser evaluado junto con el costo de las tuberías y el tendido de líneas de corriente adicionales que deben ser instaladas si se aumenta la separación entre los pozos para disminuir la interferencia entre los mismos.

Como la interferencia de pozos reduce el descenso disponible, también reduce el rendimiento del pozo. Por lo tanto, la interferencia de pozos es una cuestión importante en el diseño de las baterías de pozos donde se desea que cada pozo extraiga el mayor caudal posible. Como la interferencia causada por cualquier pozo sobre otro pozo es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre dos pozos (r^2), se puede evitar una interferencia de pozos excesiva aumentando la separación entre los pozos y ubicándolos a lo largo de una línea a preferencia de un diseño en círculo o en grilla.

Una vez diseñada la batería de pozos, se calcula su área de influencia cuyo contorno está definido por el radio de influencia de los pozos más externos del campo de bombeo.

Se debe tener en cuenta que para un buen manejo del recurso, generalmente es preferible generar una depresión suave en una zona extensa que una gran depresión en una zona más reducida.

4.8.5. Métodos Hidrodinámicos

El más importante es la elaboración de mapas de isopiezas y redes de flujo. Las redes de flujo consisten en dos grupos de líneas. Un grupo, las curvas equipotenciales, conecta los puntos de igual potencial hidráulico y por lo tanto representa la altura de la superficie hidráulica de un acuífero con respecto a un nivel de referencia. El segundo grupo son las líneas de flujo y describen el camino idealizado que siguen las partículas al moverse en el acuífero. Como el agua subterránea se mueve en el sentido del mayor gradiente hidráulico, las líneas de flujo en acuíferos isótropos son perpendiculares a las curvas equipotenciales.

La construcción de las redes de flujo es una práctica muy habitual en los estudios hidrogeológicos (Kruse y Rojo 1989, Hernández *et al.* 1995, entre otros) y tienen múltiples aplicaciones. El estudio de las superficies hidráulicas conjuntamente con las líneas de flujo, permite obtener datos básicos sobre el movimiento y comportamiento del agua subterránea. No sólo puede realizarse una interpretación cualitativa, sino también cuantitativa, ya sea por métodos simples, ya sea a través del estudio de una colección de

las mismas en diferentes épocas, con o sin ayuda de modelos. Por ejemplo, como las curvas equipotenciales se construyen de modo que exista igual diferencia de potencial hidráulico entre curvas sucesivas, la variación en el espaciamiento entre las mismas permite detectar variaciones en la permeabilidad, en el espesor del acuífero o en la sección de pasaje. Asimismo, la disposición de las líneas de flujo permite identificar zonas de recarga (líneas divergentes) y de descarga (líneas convergentes), con sus distintas variantes y, al igual que el caso anterior, zonas con variaciones en las características del acuífero.

Esto es importante también al establecer las relaciones aguas superficiales-aguas subterráneas, para lo cual se debe conocer la posición topográfica de los cuerpos superficiales analizados

El análisis cuantitativo de superficies hidráulicas se basa en la aplicación de la ley de Darcy (1956) cuando puede suponerse que esta es válida y que el medio puede suponerse de permeabilidad isótropa. Por ejemplo, el flujo que atraviesa un tramo AB de una curva equipotencial se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$q = T \cdot AB \cdot i$$

donde:

q = caudal;

T = transmisividad del acuífero;

i = gradiente hidráulico.

Si se supone que ya sea la transmisividad o el gradiente varían a lo largo del tramo considerado, se debe dividir el mismo en porciones menores y en cada una de ellas se determina el caudal que la cruza; el caudal total es la suma de los caudales parciales.

De forma similar se puede calcular el balance para una superficie determinada. Dada un cuadrado ABCD, donde los segmentos AB y DC corresponden a curvas equipotenciales y los segmentos AD y BC corresponden a líneas de flujo, el balance de esta superficie (Sup) establece que:

$$\text{entrada por AB} - \text{salida por DC} = \text{descarga en Sup} - \text{recarga en Sup}$$

o sea,

$$T_{AB} \cdot AB \cdot i_{AB} - T_{DC} \cdot DC \cdot i_{DC} = q \cdot \text{Sup}$$

donde:

T_{AB} = transmisividad media a lo largo de AB;

T_{DC} = transmisividad media a lo largo de DC;

i_{AB} = gradiente a lo largo de AB;

i_{DC} = gradiente a lo largo de DC;

q = caudal neto saliente (salidas - entradas, negativo si es entrante) por unidad de superficie en la superficie ABCD (Sup).

Por otra parte la comparación de la superficie hidráulica (freática o piezométrica) con otros mapas permite obtener nuevos mapas con utilidad propia:

- 1). Si se la compara con la superficie piezométrica (o freática) en otra época, se obtiene un mapa de variación de niveles o un mapa de variación del volumen saturado en un acuífero libre.
- 2). Si se la compara con la superficie topográfica, se puede obtener la profundidad del nivel de agua o de la superficie freática si el acuífero es libre, identificar zonas de descarga en su intersección y analizar su relación con las aguas superficiales.
- 3). Si se la compara con un mapa de la base del acuífero, se puede obtener un mapa del espesor saturado, si el acuífero es libre.
- 4). Si se la compara con mapas de riesgo de contaminación, se pueden detectar zonas vulnerables.

Los mapas de variación de nivel en acuíferos libres son especialmente interesantes para estudiar las variaciones totales del agua almacenada y puede poner de relieve ciertas particularidades del funcionamiento del acuífero, como la extensión de los embudos de bombeo.

Los mapas de máxima variación de nivel tienen interés para el proyecto de pozos. Los planos de espesor saturado máximo pueden condicionar la ubicación de captaciones permanentes en un acuífero libre.

La comparación de los distintos mapas está facilitada hoy en día por la utilización de sistemas de información geográfica (GIS).

4.8.6. Métodos Hidroquímicos e Isotópicos

Estos métodos consisten principalmente en la realización de análisis químicos o isotópicos de las aguas estudiadas y de la elaboración de los mapas correspondientes. Son de especial utilidad no sólo para controlar la evolución de la calidad del agua, sino también para detectar, en casos favorables, mezclas de aguas superficiales (ya sean ríos, lagos o mar) y subterráneas, y a veces permiten identificar mezclas entre distintos acuíferos. Estas aplicaciones son posibles cuando los componentes que intervienen en la mezcla tienen composiciones químicas y/o isotópicas diferentes. Es muy común que ambos métodos se utilicen en conjunto ya que los mismos se complementan. Por ejemplo, Rao *et al.* (1987) utilizaron un enfoque combinado de isótopos ambientales e hidroquímica para estudiar la salinización del agua subterránea en acuíferos costeros, mientras que Payne (1980) utilizó isótopos ambientales para evaluar la infiltración de agua de ríos a acuíferos. Generalmente los datos obtenidos se vuelcan en gráficos combinando ambos tipos de datos, lo que permite identificar, en la mayoría de los casos, los distintos tipos de agua existentes y evaluar si se presentan fenómenos de mezcla. En Cuervo *et al.* (1977) se propone una forma de confrontar los resultados químicos e isotópicos para verificar si ambos métodos están indicando lo mismo. Para ello se realiza una estimación del grado de mezcla, por ejemplo en el caso de contaminación con agua de mar, de acuerdo a la siguiente relación:

$$X C_{\text{acuifero original}} + (1 - X) C_{\text{mar}} = C_{\text{observada}}$$

$$X' \delta_{\text{acuifero original}} + (1 - X') \delta_{\text{mar}} = \delta_{\text{observada}}$$

donde:

X y X' = representan el porcentaje del agua original remanente;

C = la concentración salina; y

δ = los valores isotópicos.

Si ambos métodos reflejan la misma causa, los valores X y X' deberían ser similares.

4.8.7. Elaboración de Mapas de Vulnerabilidad y Mapas de Riesgo

La vulnerabilidad de un sistema se refiere a su grado de protección natural frente a la contaminación. En el caso de fuentes superficiales, se deben tener en cuenta, entre otras variables, la pendiente de sus orillas, el tipo de litología y suelo, si se encuentra vegetada y el tipo de vegetación. En el caso de acuíferos libres, la vulnerabilidad es función inversa de la profundidad de yacencia y directa de la permeabilidad vertical de la zona subsaturada. Los acuíferos confinados son más vulnerables en sus ámbitos de recarga, mientras que en los semiconfinados la vulnerabilidad está controlada por las propiedades físicas y geométricas de los acuitardos y también por la diferencia de potencial hidráulico que guarda con el libre sobrepuesto. No es sencillo establecer en forma cuantitativa el grado de vulnerabilidad de las unidades hidrogeológicas debido a la variedad de factores que inciden en ella. Sin embargo, si se consideran las variables más significativas para cada caso (mencionadas anteriormente) y se las divide en categorías con valores propios, se pueden obtener órdenes de magnitud para la vulnerabilidad, facilitando la elaboración de mapas de vulnerabilidad. Una vez elegida el tipo de fuente de agua que se va a explotar, los mapas de vulnerabilidad permiten identificar las zonas que deben ser protegidas para evitar la contaminación del recurso.

Los mapas de vulnerabilidad deben acompañarse de los mapas de riesgo en los que se indica la ubicación de las fuentes reales o potenciales de emisión de contaminantes (por ejemplo, zonas urbanas, basurales, terrenos cultivados, emplazamientos industriales o ámbitos ganaderos).

La utilización de estos dos tipos de mapas en conjunto permite identificar los peligros de contaminación de una fuente de agua, y así evaluar la conveniencia de la explotación del mismo, la ubicación adecuada de las obras de captación y la elaboración de planes de protección (ver también Capítulo V. Hidrogeología, Sección 5. Areas de Protección).

4.8.8. Estudio de las Relaciones Entre el Agua Dulce y el Agua Salada

Este estudio reviste un gran interés en las regiones costeras, o en acuíferos localizados sobre formaciones de agua salada, como por ejemplo la costa de la provincia de Buenos Aires. El flujo de agua dulce del acuífero crea un estado de equilibrio entre ambas aguas que sólo sufre modificaciones naturales a muy largo plazo. Al planificar la instalación de

obras de captación en zonas costeras, se debe calcular la ubicación de la interfaz agua dulce - agua salada y evaluar su evolución por la acción del bombeo.

Las técnicas empleadas para el estudio y conocimiento práctico de las relaciones agua dulce - agua salada en las regiones costeras en nada difieren de las técnicas usuales en hidrología. Se precisa una mayor precisión en los métodos de muestreo y los piezómetros deben prepararse expresamente para el fin a que se destinan. Una campaña de estudio de un acuífero costero precisa el establecimiento de perfiles y mapas hidrogeológicos, de ensayos de bombeo y mapas de permeabilidad y transmisividad, de la confección de mapas de isopiezas, de un cuidadoso análisis de la salinidad del agua y de su estratificación y del establecimiento de balances hídricos para determinar el vertido de agua dulce al mar, siendo recomendable realizar esto último mediante más de un método independiente. La forma más directa de determinar la situación de la zona de mezcla del agua dulce y agua salada en un determinado acuífero es mediante análisis químicos de muestras de agua tomadas a diferentes profundidades. También existen ecuaciones, como la de Ghyben-Herzberg (Ghyben & Badon 1889, Herzberg 1901), Hubbert (1940), que permiten definir la posición y desplazamiento de la cuña de agua salada, con mayor o menor poder de resolución, y que están ampliamente descriptas en el Capítulo V. Hidrogeología, en su Sección 1.7. Relaciones Agua Dulce - Agua Salada.

4.8.9. Modelos de Acuíferos

A medida que aumenta la información disponible del sistema que se encuentra en explotación, se pueden ir creando y perfeccionando modelos.

La correcta utilización de las aguas subterráneas requiere que se conozca las variaciones del flujo y niveles del agua subterránea ante diversas acciones exteriores, entre las que cabe destacar la recarga natural, las extracciones, el drenaje natural o la construcción de obras. En situaciones reales de acuíferos de características variables en el espacio, con complicadas relaciones en los límites, con un complejo sistema de recarga y descarga y sometidos a las variaciones estacionales y anuales de los aportes, el uso de ecuaciones o métodos simples no es más que una primera aproximación.

Los modelos son una potente herramienta de trabajo que permite manejar eficazmente situaciones complejas y tratar al sistema acuífero como un todo, no sin introducir simplificaciones. Los distintos modelos de acuífero se analizan en el Capítulo V. "Hidrogeología", en la Sección 2.11. "Modelos de Acuífero". Dentro de los modelos están incluidos directa o indirectamente la utilización de los métodos explicados en los puntos anteriores, ya que para desarrollar un modelo se deben conocer lo más profundamente posible las características y el funcionamiento del sistema considerado. El principal objetivo del modelo es predecir el comportamiento del sistema ante una serie de alternativas de explotación posibles, razón por la cual su aplicación en la valoración y evaluación de impactos es de gran utilidad y efectividad. Vale recordar una vez más la importancia de la generación y conservación de archivos, ya que toda esa fuente de información es la que permite la elaboración y ajuste de los modelos para hacerlos más representativos y confiables.

Actualmente se pueden encontrar varios modelos de simulación a través de Internet (http://ourworld.compuserve.com/homepages/W_H_Chiang). A modo de ejemplo se pueden mencionar el ASM (Aquifer Simulation Model), el SUTRA (Voss 1984), y el MODFLOW (McDonaldy & Harbaugh 1988), utilizados para modelar el flujo de agua y

transporte de solutos, los primeros en 2D y el tercero, muy utilizado, en 3D. También son comunes el modelo Aquifer Test (<http://www.bossintl.com/>), utilizado para ensayos de bombeo, y el WASP (ftp://ftp.epa.gov/epa_ceam/wwwhtml/softwdos.htm) utilizado para aguas superficiales.

4.9. MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA IMPACTOS BIÓTICOS

4.9.1. Introducción

Existen varios métodos para evaluar impactos sobre el medio biótico (o impactos ecológicos), desde las descripciones cualitativas, los métodos basados en el hábitat, hasta la utilización de modelos predictivos ya sea de la dinámica de una población determinada o de la evolución de un ecosistema, y modelos físicos tales como los bioensayos y estudios de sistemas bióticos a pequeña escala (“microcosmos”) (Canter 1998).

En la **Tabla 58** se indican los impactos explicados en la Sección 3 que pueden ser evaluados y/o monitoreados por métodos específicos para impactos bióticos. Algunos de ellos, como la destrucción de ambientes litorales o la vegetación, pueden ser evaluados mediante técnicas de evaluación de hábitat, y en combinación con GIS. Otros pueden evaluarse y monitorearse además mediante el uso de índices específicos, por ejemplo los que involucran la alteración del hábitat en el medio acuático, o índices de calidad ambiental (explicados en la Sección 4.5.3). La alteración sobre las poblaciones de peces, u otras poblaciones animales, puede estudiarse directamente mediante modelos que simulen la dinámica poblacional o indirectamente, en los casos en que el impacto se debe a una pérdida en cantidad y/o calidad del hábitat, mediante métodos basados en el hábitat.

Impacto	
2.	Destrucción de ambientes litorales.
3.	Eliminación de la vegetación.
5.	Alteración de las comunidades acuáticas por el ingreso de sólidos en suspensión.
9.	Perturbación de flora y fauna terrestre por excavaciones y/o voladuras por la construcción de acueductos.
17.	Alteración de los canales o cursos de agua y del hábitat de la flora y fauna por inundaciones locales.
27.	Cambios en la dinámica de nutrientes de los cuerpos de agua.
28.	Modificación de la calidad del agua para la vida acuática.
30.	Alteración de las poblaciones piscícolas.
31.	Disminución de la capacidad de autodepuración.
50.	Perturbación de flora y fauna terrestre por excavaciones y/o voladuras por la construcción de la planta de tratamiento.
62.	Proliferación de fauna oportunista.
65.	Alteración de la calidad de los suelos, agua y biota por la disposición de lodos y sólidos.
78.	Perturbación de flora y fauna debido al contacto con agua tratada.

Tabla 58. Impactos explicados en la Sección 3 (Tabla 7) que pueden ser evaluados y monitoreados mediante métodos específicos para impactos bióticos

4.9.2. Índices Para Evaluar Impactos Ecológicos

En muchos casos, los impactos pueden evaluarse y monitorearse mediante el uso de índices como, por ejemplo, los índices de diversidad de especies de Simpson (1949) y de Shannon (1962). En ciertas circunstancias una baja diversidad específica puede ser evidencia de que ha ocurrido una alteración en un ecosistema como, por ejemplo, el vertido de agroquímicos en un cuerpo de agua, o el aumento de sólidos en suspensión como consecuencia de un aumento en la erosión.

Este tipo de alteraciones puede ser evaluado también en base a la presencia/ausencia y/o aumento/disminución de ciertas especies. De hecho, existen índices específicos para evaluar eutroficación y contaminación del agua que se basan en la presencia de ciertas especies indicadoras, o en la proporción en que se encuentran las mismas en la comunidad. Couillard & Lefevre (1985) y Guhl (1987) analizan la conveniencia de utilizar varios índices bióticos para evaluar la calidad del agua. Algunos de dichos índices utilizan a las diatomeas como indicadores, por ejemplo el índice de Nygaard (1949), o el índice de Wu (1986) relacionado con la polución de origen orgánico.

Este tipo de índices tienen la desventaja de que es necesario que un especialista o personal entrenado realice un recuento de especies o de individuos pertenecientes a diferentes taxa. En compensación, el uso de organismos acuáticos como indicadores de la calidad ambiental tiene la gran ventaja de que permite detectar, por ejemplo, descargas contaminantes discontinuas. Al reflejar la integración de las características del ambiente durante cierto tiempo pasado, la composición biológica permite revelar el impacto de factores que operan de vez en cuando escapando al análisis puntual e inclusive seriado (Margalef 1983), y que podrían afectar la calidad del agua para otros usos y, por ejemplo, aumentar el riesgo de la población por el consumo de agua contaminada.

El estado trófico de los cuerpos de agua puede evaluarse también mediante los índices de Carlson (1977) basados en la concentración de clorofila, fósforo total, y transparencia. Si bien las tres variables pueden utilizarse en la evaluación, es conveniente darle más peso al parámetro que se considere más sensible en cada sistema particular, y dependiendo del momento en que se tomen los datos. Los índices de Carlson varían entre 0 y 100: para valores por debajo de 40 se considera que el cuerpo de agua es oligotrófico, entre 40 y 50 mesotrófico, y para valores de los índices por encima de 50 eutrófico.

4.9.3. Métodos Basados en el Hábitat

Existen numerosos métodos basados en el hábitat para la predicción y evaluación de impactos del medio biótico. En particular, los métodos de mayor aceptación en Estados Unidos, que se describen brevemente en las siguientes secciones, son el “Sistema de Valoración del Hábitat” (HES) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (1976), y el “Procedimiento de Valoración del Hábitat” (HEP), del Servicio de Pesca y Medio Natural de Estados Unidos (1980). Otras técnicas de evaluación de hábitats pueden consultarse en las revisiones de Schuytema (1982) y Atkinson (1985).

Estos métodos pueden aplicarse al estudio de impactos generados por obras que involucran una eliminación considerable de “hábitat”, como por ejemplo la construcción de una represa para abastecer de agua potable una población. Debe entenderse por “hábitat” no sólo el lugar donde reside un individuo o especie, sino también la

combinación necesaria de alimento, agua, refugio y otros recursos que el individuo o especie requieren para vivir. Entre estos recursos se encuentran otros organismos, así como condiciones de clima, agua, suelo y vegetación (Canter 1998).

4.9.3.1. Sistema de Valoración del Hábitat (HES)

El supuesto fundamental del HES es que la presencia o ausencia, abundancia y diversidad de poblaciones animales en un hábitat o comunidad están determinados por factores básicos bióticos y abióticos que pueden cuantificarse fácilmente, y que si los requisitos necesarios del hábitat para una especie están presentes, entonces se mantendrá una población viable de la misma. El HES no considera especies particulares sino que utiliza características generales del hábitat que indican su calidad global para las poblaciones de fauna y peces. A continuación se describen las etapas necesarias para valorar los impactos de un proyecto en desarrollo mediante este método.

- 1). *Obtención de datos de la superficie del tipo de hábitat.* Debe delimitarse en la zona del proyecto la superficie comprendida por cada tipo de hábitat terrestre y acuático, para lo cual pueden utilizarse Sistemas de Información Geográfica (GIS).
- 2). *Selección de variables para la asignación de valores del índice de calidad del hábitat (HQI).* Para cada tipo de hábitat deben seleccionarse variables esenciales a las cuales se les debe asignar un valor ponderado relativo. Para sistemas acuáticos algunas de dichas variables podrían ser asociación de especies piscícolas, turbidez, diversidad bentónica, caudal e índice de sinuosidad para cuerpos de agua lóticos, y sólidos disueltos, profundidad media, desarrollo de línea de costa y cobertura de plantas acuáticas para cuerpos lénticos. También pueden usarse índices como los indicados en la Sección 4.5 o ICAs (explicados en la Sección 4.5.3).
- 3). *Valoración del HQI.* Las mediciones de cada variable se convierten en un valor del HQI (en una escala de 0 a 1) utilizando curvas de funciones específicas para esa variable y tipo de hábitat. En la **Figura 10** se muestra la función correspondiente a los sólidos disueltos totales en una corriente de agua (US Army Corps of Engineers 1980). A su vez, cada valor de HQI se le asigna un valor entre 0 y 100 que refleja la importancia relativa de la variable esencial en la descripción de la calidad global del hábitat, obteniéndose a partir del producto de los dos valores asignados una valoración del HQI ponderada de la variable. En el caso de los sólidos disueltos totales la importancia relativa es de 20 para cuerpos de agua lóticos, y 30 para cuerpos de agua lénticos. A partir de la función de la **Figura 10** se obtiene que, por ejemplo, una concentración de 500 ppm corresponde a un valor de 0,8 de HQI, lo cual equivale a un HQI ponderado de 16 para cursos de agua y de 24 para cuerpos lénticos. Los valores del HQI ponderados para la serie de variables de un tipo de hábitat particular se suman, y se divide el total por 100 para obtener una valoración del HQI total para el tipo de hábitat. En la **Tabla 59** se muestra un ejemplo de cálculo del HQI con datos de un bosque de Estados Unidos.

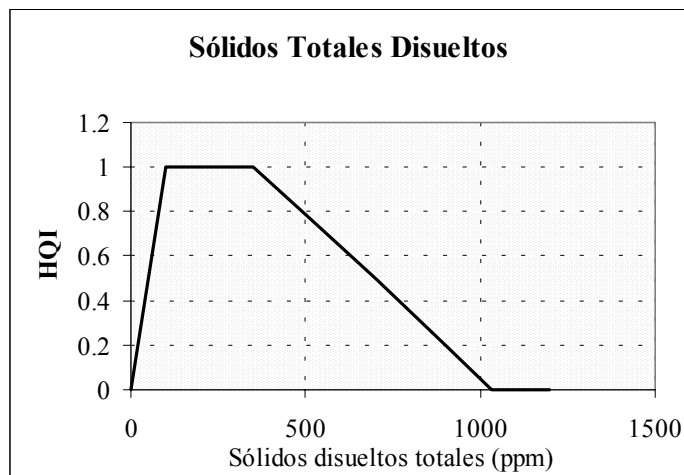


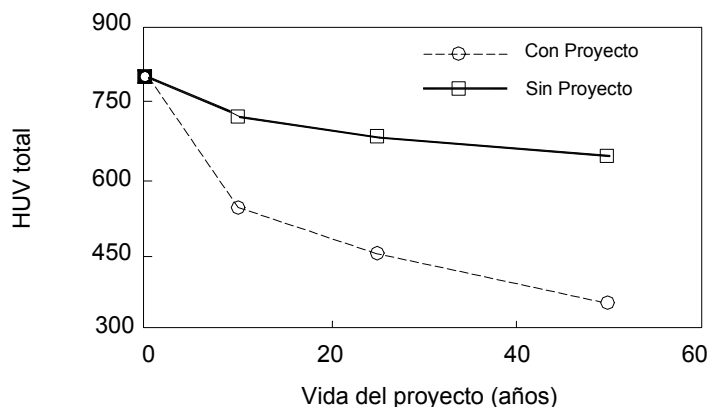
Figura 10. HQI en función de los sólidos disueltos en una corriente de agua
(Fuente: US Army Corps of Engineers 1980)

Variable	Valor ponderado	Valoración del HQI	Ponderación del HQI
Asociación de especies	17	0,96	16,3
N° de árboles maderables	16	1,00	16,0
% de cobertura del estrato inferior	14	0,32	4,5
% de cobertura vegetal	14	0,46	6,4
N° de árboles con DAP > 46 cm	14	0,80	11,2
Tamaño del terreno	14	0,80	11,2
N° de troncos caídos	11	0,92	10,2
Total	100		75,8
Puntuación del HQI			75,8/100 = 0,76

Tabla 59. Ejemplos de valores y variables esenciales para un bosque y cálculo del HQI (Fuente: adaptado del US Army Corps of Engineers 1980)

- 4). *Obtención de los valores de la unidad del hábitat (HUVs).* Tanto la calidad como el tamaño de un hábitat particular se consideran importantes para evaluar el valor global de un hábitat. El HUV se obtiene multiplicando el HQI del hábitat por el tamaño del mismo.
- 5). *Proyección de los HUVs para condiciones futuras con y sin proyecto.* Los HUVs se deben obtener para condiciones futuras y, si correspondiera, para las alternativas de un proyecto (por ejemplo, cuando se evalúan diferentes ubicaciones para la construcción de una planta de tratamiento, o el aprovechamiento de fuentes de agua diversas). Además deben obtenerse valores de los mismos para intervalos de tiempo sobre la vida del proyecto. Los HUVs proyectados se basan en los cambios estimados del uso del suelo o del tamaño del hábitat, causados por ejemplo por la eliminación o reemplazo de la vegetación. En la **Figura 11** se da un ejemplo de cómo calcular las pérdidas de HUV para distintos intervalos de tiempo. Los cambios de los valores del HQI a lo largo del tiempo pueden ser difíciles de calcular ya que

requieren proyecciones de los cambios de todas las variables utilizadas para describir el tipo de hábitat.



HUV total sin proyecto = $\frac{1}{2} (800 + 720) 10 + \frac{1}{2} (720 + 680) 15 + \frac{1}{2} (680 + 640) 25 = 34600$
HUV anualizado sin proyecto = $34600/50 \text{ años} = 692$

HUV total con proyecto = $\frac{1}{2} (800 + 544) 10 + \frac{1}{2} (544 + 450) 15 + \frac{1}{2} (450 + 350) 25 = 24175$
HUV anualizado con proyecto = $24175/50 \text{ años} = 483$

Pérdidas de bosque (HUV total) = $24175 - 34600 = -10425 \text{ HUV}$
Pérdidas de bosque (HUV anualizado) = $483 - 692 = -209 \text{ HUV}$

Figura 11. Ejemplo del cálculo de las pérdidas de HUV sobre un bosque
(Fuente: Canter 1998)

- 6). *Utilización de los HUVs para evaluar los impactos.* Los impactos del proyecto (y de existir, de sus alternativas) se estiman mediante la diferencia entre los HUVs con y sin proyecto. Las comparaciones entre alternativas se pueden realizar fácilmente por comparación de los impactos expresados mediante dicha diferencia. En la **Tabla 60** se muestra un ejemplo de cómo calcular a partir de los HUVs el impacto que causa un proyecto dado sobre un tipo de hábitat determinado con los valores obtenidos en la **Figura 11**.

Vida del proyecto (años)	Condic. Futuras sin proyecto			Condic. Futuras con proyecto			Impacto
	ha	HQI	HUV	Ha	HQI	HUV	
0	405	0,8	800	405	0,8	800	
10	364,5	0,8	720	293,6	0,75	544	
25	344,25	0,8	680	243	0,75	450	
50	324	0,8	640	202,5	0,7	350	
HUV total			34600			24175	-10425
HUV anualizado			692			483	-209

Tabla 60. Ejemplo de cálculo del HUV y de los impactos que causa un proyecto sobre un hábitat dado (Fuente: adaptado de US Army Corps of Engineers 1980)

El método HES se puede aplicar para determinar el tipo y cantidad de terrenos de corrección requeridos para compensar las pérdidas debidas a un proyecto. El tamaño de los mismos puede calcularse dividiendo los HUV anuales perdidos por la ganancia anual de HQI en terrenos de corrección.

4.9.3.2. Procedimiento de Valoración del Hábitat (HEP)

El método HEP, a diferencia del HES, involucra la selección de una especie de fauna terrestre o acuática representativa (especie indicadora), y la valoración subsiguiente de la calidad del hábitat relativo a dicha especie. Este método proporciona información para dos tipos generales de comparaciones de hábitats de fauna:

- El valor relativo de zonas diferentes en el mismo momento.
- El valor relativo de una misma zona en el futuro.

Por combinación de los dos tipos de comparaciones se puede cuantificar los impactos de los cambios en el uso del agua o del suelo previstos por la implementación de un proyecto. El HEP se basa en la suposición de que el hábitat para la especie de fauna escogida se puede describir mediante el valor del “índice de aptitud de hábitat” (HSI), determinado a través del uso de modelos. Este valor, que varía entre 0 y 1 se multiplica por la superficie de hábitat disponible para obtener “unidades de hábitat” (HUs) que se utilizan para realizar las comparaciones.

Un estudio de HEP debería incorporar varias especies indicadoras, según las siguientes consideraciones para evaluar el número y tipo de especies necesarias en un caso particular (Canter 1998):

- Especies conocidas sensibles a acciones específicas del proyecto.
- Especies que tienen un rol clave en el funcionamiento del ecosistema.
- Especies que representen grupos de especies que utilizan un recurso ambiental común.
- Especies de interés público, económico o cultural.
- Especies para las que ya se han desarrollado modelos HSI.
- Especies que por su estado de conservación requieren de medidas de protección particulares.

4.10. MÉTODOS ESPECÍFICOS PARA IMPACTOS CULTURALES

4.10.1. Impactos Visuales

La evaluación del impacto visual intenta predecir y evaluar la importancia y la magnitud de los impactos visuales de los desarrollos propuestos en determinadas ubicaciones (Heape 1991), es decir la importancia y/o la gravedad de la alteración que se produzca en la calidad de los recursos visuales como el resultado de actividades y/o usos del suelo previstos en un paisaje o junto a él.

El impacto visual puede definirse como la alteración producida en los recursos visuales y en la reacción del observador frente a dichos recursos, contribuyendo a reducir los valores escénicos. Al tratar de evaluar los impactos visuales pueden surgir algunos problemas tales como (Canter 1998):

- 1). La falta de acuerdo generalizado sobre la definición y criterios de calidad visual.
- 2). La necesidad de tratar las variaciones estacionales en la calidad de las vistas escénicas.
- 3). El insuficiente número de profesionales disponibles con experiencia en este tipo de evaluaciones.
- 4). El gran número de personas que tienen opiniones divergentes sobre lo que es estéticamente agradable.

Una vez identificados los impactos potenciales que el proyecto que se propone puede tener sobre los recursos visuales es necesario definir un área de estudio de acuerdo a las posibles intrusiones visuales. Para describir los recursos visuales previos pueden utilizarse distintos enfoques como, por ejemplo, la técnica de puntuación de vistas de Beer 1990, o el uso de listas control (Smardon *et al.* 1986). El área de estudio debe incluir los límites de las propiedades y terrenos asociados con el proyecto, así como las cuencas visuales y vistas escénicas próximas, entendiéndose por cuenca visual el conjunto de todas las áreas superficiales que son visibles desde el punto de vista del observador.

También deben identificarse las leyes y reglamentos relacionados directa e indirectamente con los recursos visuales, y las directrices o criterios de planeamiento. Esta información puede utilizarse en la evaluación de la calidad visual previa y los impactos potenciales del proyecto o la actividad propuesta.

Existen diferentes metodologías para predecir los impactos de un proyecto sobre los recursos visuales. A continuación se enumeran algunos enfoques que pueden utilizarse (Canter 1998):

- 1). Metodologías descriptivas con apoyo de fotografías en las que se describe la calidad visual del área de estudio en las condiciones previas al proyecto, y con éste implementado.
- 2). Modelos a escala para representar el proyecto ubicado en el área de estudio, junto con la metodología descriptiva.
- 3). Fotomontajes con variaciones estacionales junto con fotomontajes equivalentes en los que se haya propuesto el proyecto.
- 4). Simulaciones infográficas de las vistas del área de estudio en sus condiciones previas y con el proyecto o la actividad ubicados en la escena.
- 5). Indicadores cuantitativos que describan la calidad visual de la zona de estudio en sus condiciones previas y con el proyecto.

Existen numerosos trabajos que describen técnicas para predecir impactos visuales, entre ellos pueden citarse los de Monbailliu (1983, 1984), Bagley *et al.* (1973), Martin (1984), Smardon *et al.* (1986), Alonso *et al.* (1983).

En general este tipo de métodos se utiliza para evaluar los impactos generados por obras que producen un “corte visual” (p.e. plantas de tratamiento, tanques elevados o cisternas

sobreelevadas). En la **Tabla 61** se da un listado de los impactos explicados en la Sección 3 que pueden ser evaluados, parcial o totalmente, mediante el uso de métodos de impactos visuales.

Impacto	
10.	Dstrucción de sitios de interés turístico por construcción de acueductos.
52.	Molestias visuales a la población vecina por construcción de la planta de tratamiento.
56.	Dstrucción de sitios de interés turístico por construcción de la planta de tratamiento.
66.	Perturbación de la arboleda urbana.
67.	Dstrucción de sitios de interés turístico por excavaciones y/o voladuras.
79.	Inconvenientes e impactos estéticos sobre el vecindario por rotura o pérdida en la red de distribución.

Tabla 61. Impactos explicados en la Sección 3 (Tabla 9) que pueden ser evaluados mediante métodos específicos para impactos visuales

4.10.2. Impactos Arqueológicos e Históricos

El impacto sobre los recursos culturales incluye tanto aspectos arquitectónicos, lugares históricos y yacimientos arqueológicos como las áreas de importancia singular por la información geológica, ecológica, o científica que contienen. El ámbito de los recursos culturales incluye no sólo los límites estrictos del área de proyecto sino también las zonas colindantes en las que el proyecto pueda tener un impacto indirecto modificando el uso del suelo, o habilitando áreas para la agricultura o para uso público (McGimsey 1973).

Las etapas fundamentales asociadas a la predicción de alteraciones en el medio cultural, y a la evaluación del impacto de dichas alteraciones pueden definirse como (Advisory Council on Historic Preservation 1986):

- 1). *Identificación de los recursos culturales conocidos en el área.*
- 2). *Identificación de los potenciales recursos culturales del área.* En muchos casos esta etapa puede no ser suficiente para identificar los recursos debido a la falta de información (en áreas que no han sido relevadas, o que han sido descubiertas accidentalmente durante otros estudios). Para identificar los recursos culturales en el área de interés es necesario un reconocimiento arqueológico preliminar.
- 3). *Determinación de la importancia de los recursos culturales, conocidos y potenciales,* en relación a intereses locales, regionales y nacionales, mediante el juicio profesional de especialistas calificados.
- 4). *Determinación de los posibles impactos sobre los recursos conocidos y potenciales.* Los impactos pueden incluir inundación, destrucción, daños y/o fragmentación, y pueden originarse directamente por las perturbaciones de la fase de construcción o indirectamente por actos de vandalismo sobre los yacimientos. Los impactos indirectos son causados por los cambios en el uso del suelo y el consecuente crecimiento y desarrollo de la zona.

Los impactos sobre los recursos culturales indicados en la **Tabla 9** (de la Sección 3) que pueden ser evaluados y/o monitoreados mediante esta metodología incluyen la destrucción de sitios de importancia arqueológica o paleontológica por construcción de acueductos (impacto n° 10), por construcción de la planta de tratamiento (impacto n° 56), por excavaciones y/o voladuras (impacto n° 67).

5. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL(PMA)

Es importante destacar que si bien los proyectos de abastecimiento de agua potable constituyen medidas benéficas en sí mismas para la población humana, la implementación del sistema no garantiza la no ocurrencia de impactos ambientales específicos. Debido a ello, es imprescindible la adopción de medidas complementarias, en algunos casos muy simples, para asegurar el funcionamiento de acuerdo a lo planificado y para disminuir los nuevos riesgos sobre los distintos recursos ambientales que la obra genera.

En este contexto, conviene adoptar el concepto de Plan de Manejo Ambiental (PMA) como el conjunto de medidas incluidas en la EIA tendientes a:

- Salvaguardar la calidad ambiental en el área de influencia de los proyectos existentes y que serán implantados -o inclusive mejorarla.
- Garantizar que la implementación del proyecto se lleve a cabo de manera ambientalmente responsable.
- Asegurar las condiciones ambientales para una correcta operación y mantenimiento de las instalaciones.

En este sentido, el PMA, que es parte esencial del EIA, es más completo que otras herramientas similares que son adoptadas con distintas denominaciones (Planes de Mitigación, de Adecuación, de Prevención o de Monitoreo Ambiental *–per se–*). El PMA asegura los mismos objetivos de dichas herramientas de manejo ambiental, incluyendo medidas fundamentales que puedan asegurar la operación de un sistema determinado.

Por ejemplo, las consideraciones sobre el momento de aplicación, la metodología y la frecuencia de verificación de las medidas propuestas, así como la inclusión de medidas que involucren la realización de estudios específicos, asegura el cumplimiento de lo que usualmente recibe la denominación de Plan de Monitoreo. Las medidas de monitoreo ambiental serían, por ende, un caso particular o un subgrupo de las medidas que se proponen e incluyen en un PMA.

5.1. OBJETIVOS

Los PMA son un componente relevante e indispensable en los sistemas modernos de saneamiento urbano. Sus objetivos básicos son los siguientes:

- Ofrecer una herramienta para prevenir y controlar potenciales impactos de las actividades del proyecto sobre el ambiente.
- Proponer los estudios necesarios para verificar los impactos ambientales que eventualmente generará el proyecto de abastecimiento de agua potable.
- Evaluar, desde la perspectiva ambiental, la operación del proyecto según los supuestos de la concepción original y generar una base de datos para corregir futuros diseños.

- Contribuir para facilitar, desde la perspectiva ambiental, el funcionamiento técnico eficiente de los servicios de abastecimiento de agua.
- Satisfacer las necesidades de evaluación y fiscalización del público (incluyendo los usuarios), de los órganos de reglamentación, y de la comunidad científica.

Dentro de cada Proyecto, la elaboración del PMA consiste en la proposición de pautas de desarrollo del mismo y en la integración de las medidas de protección ambiental para evitar, minimizar y/o corregir los impactos resultantes, y para garantizar la sustentabilidad ambiental de las obras y operaciones.

Las medidas de protección ambiental propuestas en un PMA pueden ser de naturaleza muy variada. Normalmente no se pretende la aplicación inmediata de todas ellas de manera ideal, ni simultáneamente, ni con la efectividad total esperada. Sin embargo su formulación es importante ya que, aunque algunas medidas parezcan algo distantes de las posibilidades reales de implementación por el organismo responsable en el momento de su proposición, es fundamental admitir que su aplicación es viable y asumir que: i) existe un conjunto de medidas posibles, y ii) es aceptable su instrumentación progresiva.

De este modo, también se incluyen todas aquellas medidas que generalmente están en la concepción original de los proyectos pertenecientes a sistemas de abastecimiento de agua potable, como por ejemplo, las normas de seguridad y control durante la etapa de construcción que, por considerarse obvias, habitualmente no son controladas.

5.2. CLASIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL

En función de la complejidad de las múltiples interacciones que son generadas entre las actividades de saneamiento y los factores ambientales, las medidas de protección ambiental, que incluyen las acciones de control, fiscalización y monitoreo, se agrupan y clasifican en función de los componentes de cada sistema y de sus características intrínsecas.

Las medidas de protección ambiental que forman parte del PMA pueden clasificarse en medidas preventivas y correctivas. Las primeras se adoptan para evitar o minimizar impactos ambientales que aún no ocurrieron. Las últimas, en cambio, se adoptan para reducir, subsanar o atenuar la magnitud de los impactos ambientales reales (que ya ocurrieron) o potenciales (que ocurrirán de modo inevitable o que, en caso de ocurrir, requieren ser corregidos).

En la **Tabla 62** se detallan los criterios propuestos para clasificar las distintas categorías de medidas de protección ambiental: i) tiempo o momento de implementación de la medida y ii) nivel de reducción de la magnitud del impacto. Por otro lado, en la **Tabla 63** se caracteriza las medidas de protección ambiental en siete categorías, mientras que en la **Tabla 64** se especifican otros criterios que es adecuado considerar (y sus categorías correspondientes) para caracterizarlas.

Para cada medida de protección ambiental, debe proponerse la periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la misma. De igual modo se establecen y formulan una serie de indicadores a medir, que permiten evaluar el éxito de

las diferentes medidas durante o después de su implementación (dependiendo de que sean continuas o esporádicas).

			Magnitud	
			Reducción en la magnitud del impacto real o potencial	
			Parcial	Total
Tiempo	Etapas de implementación de la medida en relación a la ocurrencia real del impacto	Antes	Preventiva – Minimizadora	Preventiva – Evitadora
		Después	Correctiva – Parcial: Restauradora Rehabilitadora Mitigadora Compensatoria	Correctiva – Absoluta

Tabla 62. Criterios para clasificar las medidas del PMA

Medida	Características
Preventiva – Evitadora	Elimina totalmente la probabilidad de generar el impacto previsto.
Preventiva – Minimizadora	Reduce o disminuye significativamente la probabilidad de ocurrencia de un impacto ambiental. Este no se evita totalmente.
Restauradora	Recupera componentes o funciones alteradas de un ecosistema o un sistema ambiental (físico) para otro estado deseado o de interés social, con características similares o comunes a las originales, mediante una aceleración (generalmente asistida por la acción antrópica) de procesos abióticos e/o biológicos.
Rehabilitadora	Caso particular de la restauración ambiental. Repara o recupera un componente o una función específica de un sistema ambiental (físico y/o biológico). Sinónimo de recuperación ambiental.
Mitigadora	Suaviza, atenúa o modera la magnitud y/o intensidad del daño ambiental con la finalidad de disminuir las consecuencias negativas. Estas no desaparecen. Se aplica a los impactos de los tres “ambientes”: físico, biológico y cultural o antrópico.
Compensadora	Indemniza o resarce los efectos negativos del impacto ambiental. No actúa sobre el problema o la causa, por el contrario, ofrece una solución alternativa. No corrige impactos. Satisface las “necesidades” del “propietario” del bien o el servicio afectado, proveyendo otro bien o servicio como modo de recompensa. Se aplica, principalmente, para impactos sobre el ambiente cultural o antrópico.
Correctiva-Absoluta	Caso particular de las medidas de restauración. Ocurre a largo plazo cuando se recuperan todos los componentes, funciones y/o condiciones alteradas del sistema ambiental original (antes de la acción antrópica considerada).

Tabla 63. Características de las siete categorías de medidas de protección ambiental

Criterio	Categoría/Escala	Explicación
Carácter	Preventivo-Evitador	Ver explicación en el texto para todas las categorías (Tabla 63)
	Preventivo-Minimizador	
	Restaurador	
	Rehabilitador	
	Mitigador	
	Compensatorio	
Prioridad	Máxima	Indica la secuencia recomendada de cumplimiento
	Muy Alta	
	Alta	
	Media	
	Baja	
	Muy Baja	
	Mínima	
Efectividad	Muy Alta (> 80 %)	Mide la probabilidad que la medida de protección alcance el objetivo formulado
	Alta (61-80 %)	
	Media (41-60 %)	
	Baja (21-40 %)	
	Muy Baja (< 21 %)	
Costo (en dólares) ¹	Muy Bajo	(< \$ 500)
	Bajo	(\$ 500-1.000)
	Medio	(\$ 1.000-5.000)
	Alto	(\$ 5.000-10.000)
	Muy Alto	(> \$ 10.000)

¹ para proyectos de baja-media envergadura (menos de 30.000 habitantes).

Tabla 64. Criterios para valorar las medidas del PMA

5.3. METODOLOGÍA DE MONITOREO AMBIENTAL

5.3.1. Por Qué Monitorear Impactos Ambientales

El monitoreo de variables ambientales presenta numerosos beneficios (Bisset & Tomlinson 1988). Entre ellos, permite identificar tendencias no deseadas antes de que sea demasiado tarde para corregirlas o prevenirlas, lo cual es sumamente importante para la toma de decisiones. El monitoreo constituye además una herramienta que permite alertar tempranamente sobre un posible impacto antes de que todo el daño potencial ocurra.

A su vez, el monitoreo ambiental puede utilizarse para aumentar el conocimiento y/o mejorar la comprensión de los impactos de diferentes proyectos sobre el medio. La falta de conocimiento existente es justamente la que hace que la tarea de predecir impactos sea difícil e incierta. Para incrementar el conocimiento de los impactos de los proyectos de desarrollo es imprescindible un aumento en la aplicación de programas de monitoreo estadísticamente válidos en diferentes lugares y para una gran variedad de proyectos. El conocimiento adquirido de esta manera podría utilizarse a su vez para mejorar las EIAs futuras y para reducir el tiempo y el esfuerzo comúnmente requeridos en EIAs individuales.

Actualmente las decisiones que se toman en los proyectos involucran una incertidumbre considerable. Si bien parte de dicha incertidumbre es inherente al problema de la

predicción *per se*, una gran proporción se debe a la falta de conocimiento de los impactos reales de los proyectos sobre el medio. A su vez, el mayor conocimiento de los impactos reales (medidos) provee información adicional sobre la utilidad, adecuación y comprensión de los métodos y las técnicas predictivas.

5.3.2. **Objetivos y Alcances**

El propósito básico de los estudios destinados a medir impactos ambientales es comparar el estado de un sistema natural en presencia de una actividad antrópica que genera efectos adversos, con el estado que tendría éste si la misma nunca hubiese tenido lugar. La medición de los impactos ambientales involucra la estimación de:

- El estado, condición o calidad que tendría el sistema de no existir dicha actividad.
- El estado del sistema en presencia de la misma.
- La incertidumbre asociada a la diferencia entre ambos casos.

La mayoría de los estudios, sin embargo, no alcanzan dichos objetivos debido en parte al desconocimiento real de las consecuencias ambientales de las actividades antrópicas.

Las decisiones acerca de la existencia de impactos ambientales tienen consecuencias importantes ya sean correctas o equívocas. La conclusión de que existe un impacto muy severo, por ejemplo una disminución del 40% del caudal de un río provocada por obras de captación, podría llevar a fijar límites muy estrictos a la pesca aguas abajo del punto de captación. Si la conclusión fuese cierta la decisión adoptada sería correcta, si fuese lo contrario se hubiera limitado una actividad económica innecesariamente. Alternativamente, si la conclusión de una EIA hubiera sido que no existe tal impacto, cuando en realidad sí existe, y se hubiera decidido no limitar las actividades pesqueras aguas abajo de la toma, éstas podrían conducir al agotamiento del recurso.

Históricamente, las EIAs han involucrado simplemente la predicción de impactos que causan los proyectos de desarrollo. Muchos análisis se limitan a descripciones, en donde los datos son manipulados para mostrar algún patrón sugestivo que, a la vez, se utiliza para demostrar el efecto en cuestión (método “exploratorio”). No obstante, es cada vez más evidente la necesidad de contar con un programa de monitoreo ambiental estricto (científicamente válido) para medir los impactos ambientales potenciales con el objetivo de poner a prueba hipótesis, detectar impactos reales y medirlos de manera de poder aplicar las medidas correctivas correspondientes.

Varios autores, entre ellos Green (1979) y Carney (1987), dejan constancia de la importancia de los métodos formales estadísticos “confirmatorios” (tales como la puesta a prueba de hipótesis nulas, o los intervalos de confianza) que proveen, a diferencia de los métodos “exploratorios”, reglas objetivas para evaluar la aleatoriedad de los resultados. Para aplicar dichos métodos, sin embargo, es necesario mejorar los diseños de muestreo, definir claramente los impactos, y describir la variabilidad ambiental natural.

El desafío principal que se presenta al medir los impactos ambientales es aislar el efecto de interés del “ruido” que puede existir en los datos debido a la variación espacial y temporal. Debe tenerse en cuenta que si la magnitud de un impacto es pequeña en relación a la variabilidad natural, entonces éste será difícil de detectar. De esta manera, es crucial considerar el poder estadístico en la planificación e interpretación de los

estudios que miden impactos en el medio, lo cual puede guiar, a su vez, la selección de parámetros ambientales y la intensidad de observaciones que deben realizarse. Estos criterios de diseño son muy importantes ya que, tanto el tiempo como factores económicos, limitan el número de parámetros que pueden medirse y el número de muestras que pueden recolectarse.

El monitoreo de las condiciones del medio es la herramienta básica utilizada para medir los impactos ambientales. El objetivo principal del monitoreo es detectar los impactos y estimar su magnitud. Una parte esencial del proceso radica en establecer que el cambio percibido es una consecuencia del proyecto, y no de alguna otra causa. Por ejemplo, los cambios podrían deberse a variaciones naturales en el parámetro monitoreado, o ser el resultado de otra acción en las cercanías, sin estar directamente relacionados con el proyecto bajo consideración. Esta no es una tarea sencilla por lo cual debe ponerse mucha atención en el diseño experimental para alcanzar el objetivo deseado (Bisset & Tomlinson 1988). Existen diversos diseños de monitoreo, algunos de los cuales, como se explica en la siguiente Sección, “confunden” la variabilidad natural con los efectos de la actividad antrópica.

5.3.3. Métodos de Monitoreo Utilizados Comúnmente

El Diseño Control-Impacto, tal vez el más comúnmente utilizado, involucra la comparación de un sitio control (es decir, un sitio lo suficientemente alejado de la actividad generadora de impactos como para no ser afectado por la misma), y un sitio de impacto (cerca de la actividad y, por lo tanto, probable de ser afectado de existir algún tipo de efecto adverso). El método consiste en tomar datos de los parámetros de interés en los dos sitios (con múltiples muestreos en cada uno de ellos), y evaluar el impacto comparando estadísticamente dichos parámetros en ambos sitios. La aplicación de este diseño requiere la suposición poco realista de que los dos sitios son idénticos en ausencia de actividad. En el caso de sistemas que exhiben una variabilidad espacial considerable (como por ejemplo, los sistemas ecológicos) es extremadamente improbable que los dos lugares presenten el mismo resultado. De esta manera, este diseño no logra separar la variabilidad espacial natural de la variabilidad causada por los efectos de una actividad antrópica.

Una alternativa a esto la constituye el Diseño Antes-Después. El mismo incluye la toma de datos en un sitio de un impacto antes y después de iniciada la actividad, lo cual evita los problemas causados por la variabilidad espacial natural. Nuevamente un cambio significativo es tomado como evidencia de impacto. Sin embargo, en vez de estar indicando la presencia de efectos adversos, los datos pueden ser reflejo simplemente de otro proceso que presenta una variación a lo largo del tiempo. Se ve entonces que este diseño falla en separar fuentes naturales de variabilidad temporal de los efectos de la actividad. De todas maneras, y a pesar de que este tipo de diseño es limitado para los estudios de tipo ecológicos, puede ser utilizado para evaluar por ejemplo los impactos sobre variables físico-químicas si se modela y analiza el cambio esperado. En sistemas ecológicos (por ejemplo, un cuerpo de agua utilizado como fuente de abastecimiento) un análisis de este tipo no es factible por varias razones: básicamente no se sabe con certeza como pueden responder estos sistemas, los datos existentes son en general escasos, y los parámetros o variables pueden ser influenciados por una multitud de procesos (incluyendo una variedad de mecanismos abióticos, y también la interacción entre parámetros biológicos, cada uno de los cuales se ve influenciado a su vez por muchos factores - inclusive los de la propia actividad).

5.3.3.1. Diseño BACI (*Before-After-Control-Impact*) de Monitoreo Ambiental

Una posible solución a los problemas que presentan los diseños anteriores es combinarlos en uno solo que logre separar al mismo tiempo los efectos de la actividad de otras fuentes de variabilidad espacial y temporal. En el Diseño BACI (Green 1979), se muestrea un sitio control y uno de impacto en ausencia y en presencia de la actividad antrópica, y se evalúa la existencia de efectos comparando los valores de los parámetros medidos en ambos sitios antes y después de iniciada la acción. Sin embargo, con esta metodología puede confundirse el efecto de un impacto con otro tipo de fluctuaciones que se presentan solamente en uno de los sitios. La forma de solucionar este problema es detectando interacciones entre los efectos espaciales y temporales. De otra manera el método dará el resultado erróneo de que existe un impacto ambiental.

5.3.3.2. Diseño BACIPS (*Before-After-Control-Impact Paired Series*) de Monitoreo Ambiental

Para eludir esta limitación del diseño BACI de Green, Stewart-Oaten *et. al* (1986) propusieron el Diseño BACIPS basado en una serie temporal de diferencias entre los sitios control y de impacto, que pueden ser comparadas antes y después de la actividad, lo cual provee una estimación de la magnitud del impacto ambiental (la variabilidad en las series temporales puede usarse para obtener intervalos de confianza).

El diseño BACIPS requiere el muestreo simultáneo (*Paired*) del parámetro ambiental varias veces antes y después de la perturbación en sitios control y de impacto. La medición de interés es la diferencia ("delta", Δ) en el valor de un parámetro entre ambos sitios en cada oportunidad de muestreo. La diferencia media antes de la intervención antrópica (Δ_A) es una estimación de la variación espacial media entre los dos sitios. La misma permite estimar la variación que debería existir (variabilidad esperada) después de la intervención en ausencia de impacto ambiental (Δ_D). La diferencia entre las diferencias medias antes y después ($\Delta_A - \Delta_D$) da a su vez una estimación del impacto ambiental ocurrido.

Por supuesto, la confianza en esta estimación está determinada por la varianza de los "deltas" y por el número de muestras tomadas, por lo cual debe conocerse a grandes rasgos la variabilidad que presenta el parámetro elegido. Debe tenerse en cuenta que algunos parámetros pueden verse influenciados por procesos que tienen lugar a gran escala (eventos que dirigen la variación natural, por ejemplo impactos por represas), que afectan igualmente sitios próximos enmascarando la existencia de diferencias entre ambos. Esto último es válido sobre todo para las variables abióticas, y no tanto para las biológicas que son más sensibles a las variaciones, y, por lo tanto, presentan respuestas más evidentes. Asimismo, el muestreo de las réplicas temporales debe tomarse preferentemente con una frecuencia no regular, para evitar coincidencias con ciclos naturales.

La idea básica del diseño BACIPS es que puede haber variabilidad natural entre los sitios de impacto y control, y variabilidad temporal operando a una escala espacial grande que afecta ambos sitios de manera similar. El análisis estadístico que se utiliza para analizar los datos requiere asumir varios supuestos, algunos de los cuales son muy difíciles de probar adecuadamente. En particular, un problema del diseño BACIPS es que no resuelve los problemas estadísticos causados por la falta de réplicas espaciales (la diferencia en alguno de los sitios puede no ser de origen antrópico). El inconveniente de la "pseudoreplicación" al comparar dos sitios, uno potencialmente impactado y otro control, puede superarse teniendo varios sitios (réplicas) de impacto y varios de control,

que deben seleccionarse de manera aleatoria. Se pretende que dichos sitios sean “equivalentes”, es decir que posean características similares, sin necesidad de que sean idénticos lo cual no sólo sería impráctico sino también innecesario, ya que el conjunto de sitios escogidos debe simplemente representar el rango de variabilidad existente en el medio que se va a impactar. Por otro lado, elegir sitios similares no debería ser tanto más difícil que elegir un solo sitio de carácter representativo (Underwood 1996).

Es importante destacar el hecho de que las decisiones sobre la realidad e importancia aparente de un efecto deben basarse en todas las evidencias disponibles, consideraciones de explicaciones alternativas, y la consistencia entre diferentes sets de datos, además de los métodos estadísticos pertinentes (puesta a prueba de hipótesis o intervalos de confianza).

5.3.4. Ejemplo Hipotético de Monitoreo Ambiental

A continuación se da un ejemplo hipotético de la problemática relacionada a la metodología de Monitoreo Ambiental considerada en las Secciones anteriores. A través del mismo se muestra la diferente capacidad de los métodos de medición de impactos ambientales para reflejar la realidad, y los resultados que podrían obtenerse con cada uno de ellos.

5.3.4.1. Planteo del Caso. Monitoreo Ambiental Previo

Se considera un sistema conformado por un río principal que recibe los efluentes cloacales (con tratamiento primario) de una localidad de 25.000 habitantes y, aguas abajo, un arroyo tributario en el cual se planificó la instalación de una toma de agua para abastecer a dicha población (**Figura 12**). La localidad tiene serios problemas de abastecimiento de agua potable debido a dos factores fundamentales: a) el rápido y continuo aumento de la cantidad de habitantes, y b) el agotamiento y salinización del agua subterránea utilizada para el abastecimiento.

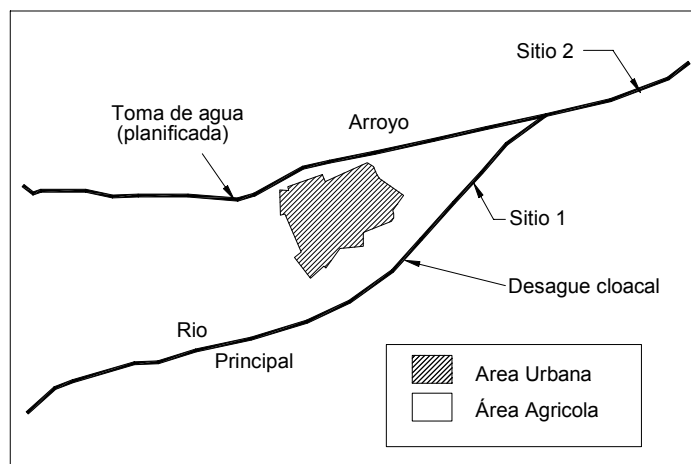


Figura 12. Esquema del sistema considerado en el ejemplo hipotético de monitoreo ambiental

En base a cálculos efectuados teniendo en cuenta la dotación diaria requerida por habitante se estimó que el caudal del arroyo sufriría una disminución de entre el 35-40 %. Se estimó a su vez que el menor aporte de caudal provocaría una disminución en la calidad del agua aguas abajo de su desembocadura en el curso principal. Esto se debería, principalmente, a una disminución en la capacidad de autodepuración del mismo, y también al mayor volumen de efluentes cloacales generados a partir de las mejoras en el sistema de agua potable. En la **Figura 13** pueden observarse los cambios en la calidad ambiental a lo largo del río principal producidos mayormente por la descarga de los efluentes cloacales con tratamiento primario en la condición sin proyecto, y la variación que se espera luego de la instalación de la toma de agua en el arroyo tributario (situación con proyecto). Según este modelo, la pérdida de caudal en el afluente generará un impacto en la capacidad de autodepuración del río que se traduciría en una disminución de la calidad ambiental (en este caso, podría evaluarse mediante un índice de calidad del agua -ICA). Esta variación, si bien puede estimarse, debe medirse directamente.

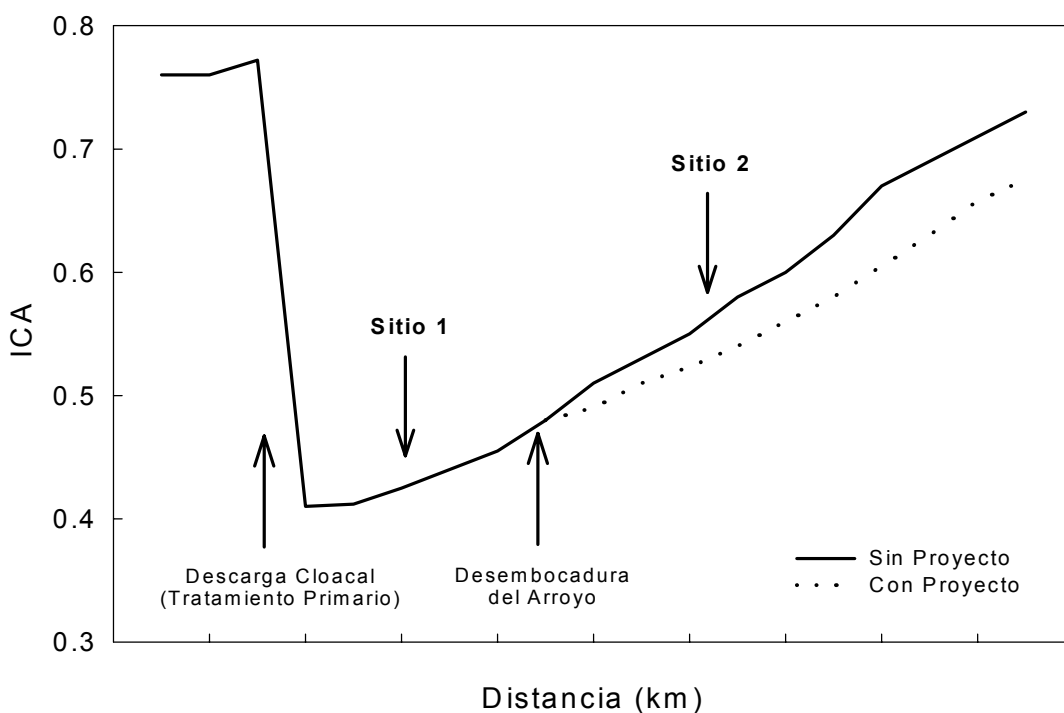


Figura 13. Consecuencias ambientales de la disminución de la capacidad de autodepuración en el río principal provocada por la captación de agua en un tributario

Durante la etapa de planificación del proyecto de captación de agua se estableció un Programa de Monitoreo Ambiental durante 12 meses previos al inicio de la captación. Una vez comenzada la etapa operativa, es decir la captación de agua, el Programa de Monitoreo se extendió durante un período de un año.

Se tomaron 4 muestras por mes en dos estaciones de muestreo ubicadas en el río principal aguas arriba y aguas abajo de la desembocadura del tributario (sitios 1 –control-

y 2 –impacto-, respectivamente) (**Figura 12 y Figura 13**). Se muestrearon las siguientes variables: DBO, sólidos disueltos y en suspensión, N total, nitratos, P total, fosfatos, pH, dureza, turbidez, conductividad, y bacterias coliformes totales y fecales. Con estos parámetros se calculó para cada muestra un Índice de Calidad del Agua (ICA) tal como se describe en la Sección 1.1.3.2 de este Capítulo. Se esperaba que existieran diferencias en el ICA entre ambos sitios de muestreo debido sobre todo a las distintas distancias a la fuente de contaminación generada por el vuelco de efluentes de la ciudad.

En la **Figura 14** se presentan las series temporales de mediciones del ICA efectuadas en los Sitios 1 y 2 respectivamente durante el Programa de Monitoreo en los períodos previo (“Antes”) y posterior (“Después”) al inicio de la captación.

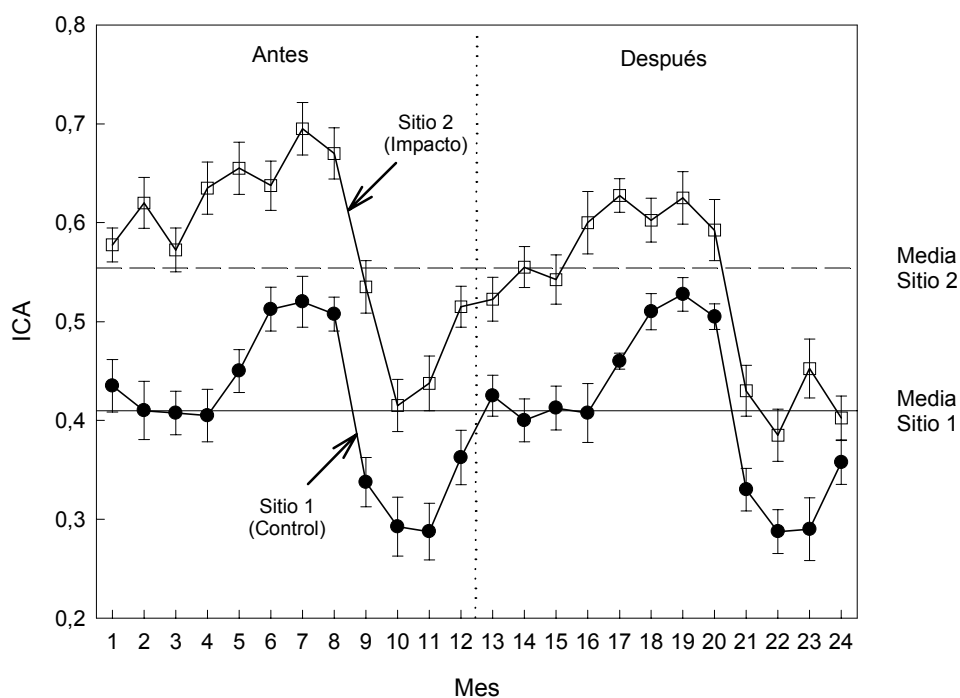


Figura 14. Serie temporal de mediciones del Índice de Calidad del Agua (ICA) en los Sitios 1 y 2 obtenidas antes y después del inicio de la captación en el arroyo. La línea punteada indica el inicio de la etapa operativa

Se observa una variabilidad temporal importante (coeficientes de variación del 20 y 16 % para los Sitios 1 y 2, respectivamente), y que existe también variabilidad espacial dada por diferencias significativas entre los dos sitios de muestreo en el ICA ($t = 5.84$, $p < 0,0001$). Esta variabilidad podría deberse tanto a factores naturales como antrópicos, tales como:

- Las variaciones naturales en el caudal del río principal y su tributario, y su influencia en las variables medidas.
- Las variaciones en las precipitaciones que pueden provocar por lavado del suelo, por ejemplo, diferencias temporales en los sólidos en suspensión en los cuerpos de agua, y diferencias en las variables físico-químicas.

- El uso de la tierra en la región considerada (el uso agrícola, por ejemplo, puede generar un cambio en la calidad del agua por la incorporación de fertilizantes, efecto que suele presentar también una variabilidad temporal en relación a las épocas de fertilización).
- La presencia de contaminantes urbanos (efluentes cloacales) que además de variar espacialmente puede presentar también un patrón de variación temporal.

5.3.4.2. Resultados del Monitoreo de la Calidad del Agua

La variabilidad espacial y temporal en la calidad del agua puede llevar a conclusiones y resultados equívocos si el diseño de monitoreo no es adecuado. Cuando los datos presentan variabilidad temporal, la única manera de determinar correctamente la existencia de impacto es mediante series temporales que implican un monitoreo continuo. El mismo debe realizarse tanto en la etapa pre-operativa como una vez implementado el proyecto.

De esta manera, se analizarán los datos de acuerdo al método BACIPS explicado en la Sección 5.3.3.2. Para ello, en primer lugar debe realizarse una correlación entre los valores de ICA obtenidos en el Sitio 1 y en el Sitio 2 para saber si existe coherencia en los patrones espaciales y temporales de variación (Magnuson *et al.* 1990). En este caso el r^2 es de 0.78 (**Figura 15**), lo cual indica que los patrones de variación están acoplados en ambos sitios (es decir, varían de la misma manera). Una baja coherencia temporal en los valores de ICA llevarían a una alta variabilidad en las diferencias (“deltas”, Δ) entre los Sitios 1 y 2 y a un poder relativamente bajo del diseño para detectar el impacto.

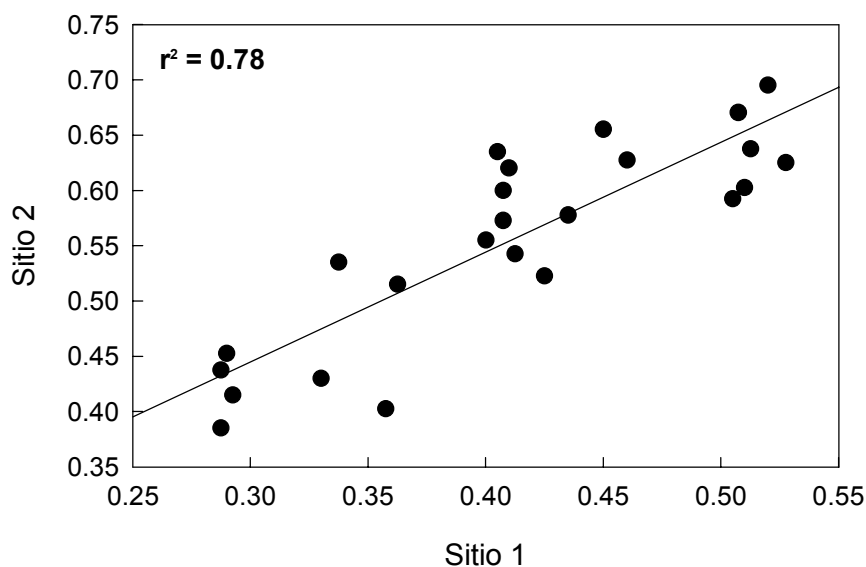


Figura 15. Análisis de la coherencia en los patrones espaciales y temporales de variación (Correlación entre los valores obtenidos para el ICA en los Sitios 1 y 2)

En la **Figura 16** se ilustra la diferencia en el valor del ICA entre los Sitios 1 y 2 para cada muestreo antes y después de la actividad de captación (Diseño BACIPS). La variabilidad media antes de la etapa de operación es de 0,17 mientras que la diferencia media después es de 0,125. De esta manera, una vez implementado el proyecto el valor de ICA

en el Sitio 2 es más parecido al del Sitio 1. Esto implicaría que la calidad del agua en el Sitio 2 se ve impactada por la actividad de captación, es decir se reduce la capacidad de autodepuración. Al restar las diferencias medias antes y después ($\Delta_A - \Delta_D$) de la implementación del proyecto se obtiene una medida de la magnitud del impacto. La confianza en esta estimación está dada por la variación de los “deltas” (entre muestreos en un mismo período) como también por el número de muestreos (réplicas). Así, el impacto evaluado de esta manera debe compararse con la variabilidad en los datos para determinar si el mismo es significativo. En este caso, las diferencias medias son significativamente distintas ($t = 5.11$, $p < 0.0005$).

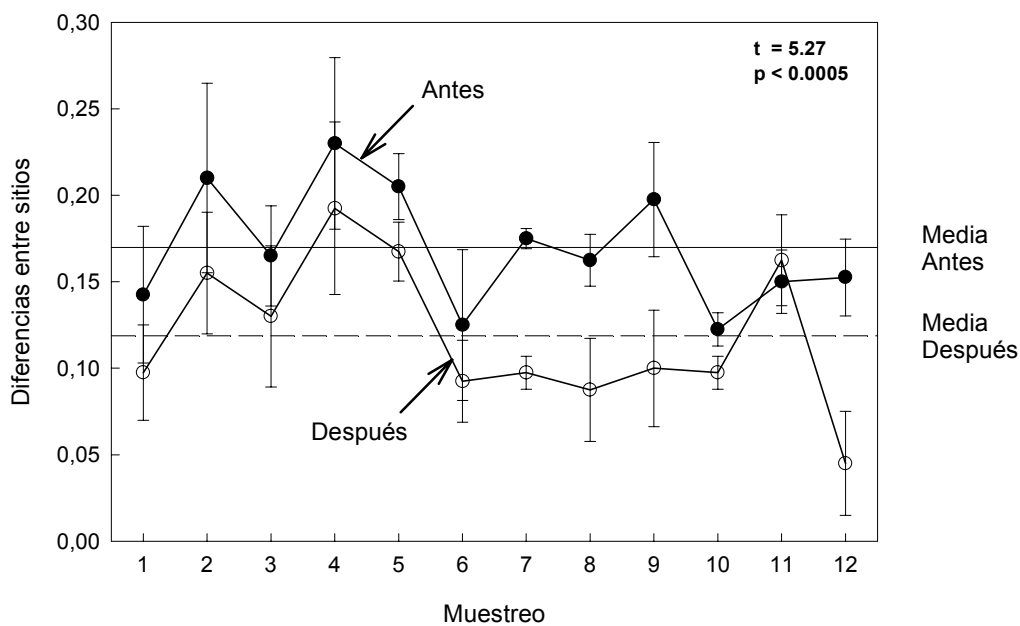


Figura 16. Diferencia en el Índice de Calidad del Agua entre los Sitios 1 y 2 antes y después de la implementación del proyecto (Diseño BACIPS)

En cambio, si se utilizara un Diseño BACI (**Figura 17**), en donde se calcula el valor del ICA para ambos sitios antes (en el mes 6) y después (en el mes 18) del funcionamiento de la toma de agua, podría suponerse que no existe impacto ambiental generado por la actividad de captación de agua dado que en ninguno de los dos sitios hay diferencias significativas en los valores de ICA antes y después de la captación ($t=0.17$ y $p=0.86$ para el Sitio 1; $t=2.1$ y $p=0.09$ para el Sitio 2). Sin embargo, no podría asegurarse que si se compararan dos muestreos (antes-después) realizados en otros meses tampoco habría diferencias significativas. De la misma manera, si se encontraran diferencias entre los muestreos no podría afirmarse si la misma responde a fluctuaciones temporales normales en las variables medidas para calcular el ICA, o a que realmente se ha detectado el impacto. Los otros diseños de muestreo comúnmente utilizados en los monitoreos (Control-Impacto y Antes-Después) también podrían dar resultados erróneos al confundir los patrones naturales de variación con cambios debidos a las actividades antrópicas.

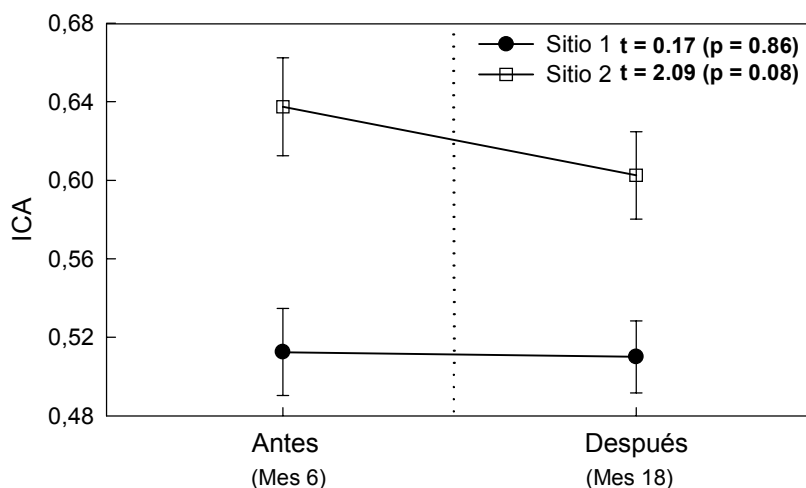


Figura 17. Índice de calidad del agua en los sitios 1 y 2 antes y después de la implementación del proyecto (Diseño BACI)

El diseño BACIPS tiene una serie de supuestos que deben probarse para obtener resultados confiables. El supuesto más importante es la ausencia de autocorrelación en las series de “deltas” para el parámetro medido (correlación entre una medición efectuada en tiempo i –por ejemplo, mes 1- y la siguiente medición efectuada en tiempo $i+1$ –por ejemplo, mes 2- (**Figura 18**).

En este caso $r^2 = 0.49$ y 0.12 para los períodos “Antes” “Después” respectivamente, lo cual indica que no existe correlación entre mediciones sucesivas, de manera que el muestreo puede realizarse cada 30 días. Este análisis sirve para detectar la frecuencia con que deben tomarse muestras independientes, de manera de no violar el supuesto de independencia temporal.

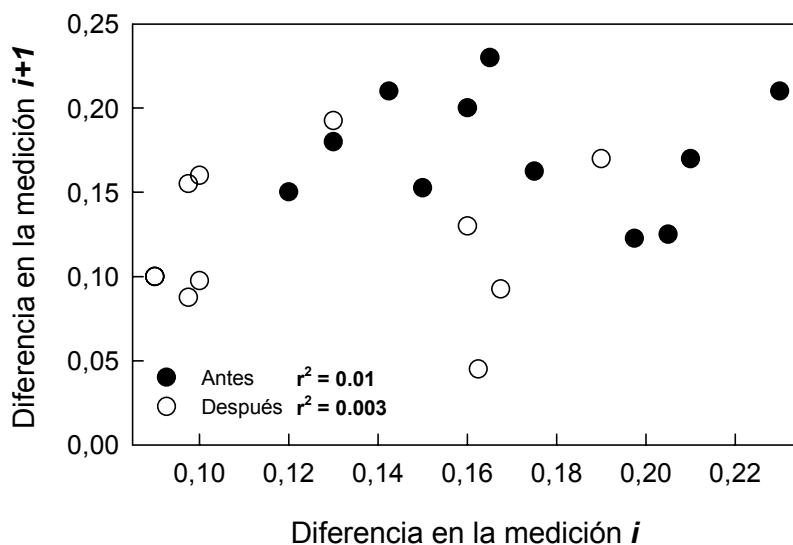


Figura 18. Resultado del análisis de autocorrelación (correlación entre las Diferencias en la medición a tiempo i y la medición a tiempo $i+1$)

5.3.4.3. Conclusiones

- El Monitoreo debe comenzar en el período pre-operativo con el establecimiento de lugares de muestreo control-impacto. En este sentido, un impacto se podría definir como un cambio estadísticamente significativo en una variable dada en dos sitios de muestreo (control-impacto) entre los períodos pre-operativa y operativa (Skalski & McKenzie 1982).
- El muestreo debe comenzar lo más pronto posible y continuar en la etapa operativa del proyecto. Hay dos razones para ello:
 - El muestro pre-operativo puede ser usado para evaluar el éxito del esquema de muestreo (por ejemplo, estableciendo que la variable se comporta de igual manera en el sitio control y en el de impacto).
 - El Monitoreo pre-operativo establece la relación en el parámetro entre ambos lugares de muestreo.
- Los objetivos del monitoreo deben establecerse explícitamente antes de diseñar el programa de monitoreo que se llevará a cabo en el campo.
- Deben seleccionarse las variables que se medirá, la magnitud del cambio que es significativo o relevante detectar, y establecer el nivel de confianza requerido para ello.
- Una vez que estos criterios se incorporan al esquema de monitoreo es posible, mediante técnicas estadísticas, determinar el esfuerzo de muestreo requerido. Esto permite estimar:
 - La frecuencia de los muestreos.
 - El número de estaciones de muestreo necesarias.
 - El/los períodos durante los cuales deben colectarse las muestras.
- El monitoreo ambiental requiere la formulación de hipótesis para una aplicación satisfactoria. El análisis más frecuentemente utilizado en el monitoreo de impactos involucra los tests de significancia. Es decir, si un cambio medido en un parámetro determinado (el supuesto impacto) es estadísticamente significativo.
- Los objetivos y el programa de monitoreo deben formularse clara y explícitamente en el PMA para asegurar que no haya cambios en el programa requerido que puedan invalidar el tratamiento estadístico de los datos.
- Una vez que se establecieron los objetivos y los lineamientos es esencial designar una estructura institucional que implemente el monitoreo, y que obtenga la información e interprete los resultados.

5.4. MEDIDAS TÍPICAS DE PROTECCIÓN Y MONITOREO AMBIENTAL

En esta Sección se presentan una serie de medidas típicas a tener en cuenta para la implementación de un sistema de abastecimiento de agua potable. Obviamente, y si bien se aplican durante las etapas de construcción y operación, dichas medidas se especifican

y formulan durante la planificación y elaboración del proyecto. Por ello, también se incluyen algunas medidas a considerar en esa etapa. Durante la planificación de cada sistema en particular se adopta un subconjunto de las medidas aquí propuestas, adaptándolas a las condiciones específicas locales. En cada caso se indicará la etapa o las etapas en las que debe aplicarse cada medida. Incluso, de resultar conveniente, se pueden incorporar otras medidas no consideradas en este documento como resultado de nuevas situaciones ambientales, avances y modificaciones tecnológicas, y/o mayor y mejor conocimiento científico de la problemática de los impactos ambientales.

La descripción de las medidas se realiza en las siguientes secciones:

- 5.4.1 Medidas Generales;
- 5.4.2 Medidas relacionadas con la Fuente de Agua;
- 5.4.3 Medidas relacionadas con la Captación de Agua;
- 5.4.4 Medidas relacionadas con el Tratamiento del Agua;
- 5.4.5 Medidas relacionadas con el Sistema de Distribución de Agua.

Esta división pretende ordenar las medidas, pero no implica que algunas de ellas no puedan aplicarse a otras etapas o componentes. Por ejemplo, la indemnización a los propietarios es generalmente aplicable a la expropiación para construir la Planta de Tratamiento de Agua, pero también deberá aplicarse en caso de efectuarse otras expropiaciones en la zona de captación.

Los criterios de caracterización de las medidas son de índole general y, como se mencionó anteriormente, deben ser adaptadas al proyecto en particular al que se apliquen. Sin embargo, se establecieron lineamientos y características generales (efectos a corregir o prevenir, carácter) o más frecuentes (prioridad, efectividad y costos esperados) de cada medida, para que puedan ser utilizadas como referencia.

5.4.1. Medidas Generales

Medida 1. Realizar una adecuada planificación del sistema de agua potable	
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir	Impactos múltiples derivados de la planificación o diseño incorrectos del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable.
Prioridad	Máxima
Carácter	Preventivo – Evitador
Efectividad esperada	Muy Alta
Costo estimado	Alto
Descripción:	<p>Una serie de impactos se pueden prevenir efectuando una completa y adecuada planificación del Sistema. A continuación se mencionan algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta durante la etapa de planificación.</p> <p>ASPECTOS LEGALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cumplir con la legislación existente. • Tramitar las autorizaciones necesarias a nivel nacional, provincial y municipal. • Comunicar la existencia y características del proyecto a la Autoridad de Cuenca, o a la institución que funcione como tal. <p>ESTUDIOS AMBIENTALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Efectuar un diagnóstico ambiental detallado del área de influencia del proyecto. • Formular recomendaciones y medidas preventivas. • Iniciar estudios de Monitoreo Ambiental. • Entregar al ENOHSA y a la Autoridad de Cuenca, Municipio, Gobierno o institución correspondiente los resultados de los estudios, dejando constancia de la validez de la información y sus falencias. <p>OBRAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detectar áreas de interés y sitios sensibles a las obras de construcción. • Formular un Plan de Construcción que especifique al menos: los límites de las actividades de construcción, las vías de acceso para la maquinaria, las áreas peligrosas, los materiales de construcción, las zonas con vegetación que no debe ser perturbadas, indicaciones de cómo actuar para su mejor protección, las zonas susceptibles a erosión o con riesgo de contaminación, y los períodos de mayor sensibilidad para la fauna. • Realizar un diseño correcto de las obras. <p>FUENTE DE AGUA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar la calidad y disponibilidad de agua. • Elegir adecuadamente la fuente de agua y la ubicación de las captaciones. • Evitar el trasvasamiento de cuencas. • Estudiar los impactos asociados a éste en la cuenca de origen y en la receptora. <p>PLANTA DE TRATAMIENTO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalar la planta de tratamiento en áreas poco pobladas. • Minimizar la distancia entre la toma de agua y la planta de tratamiento. • Planificar correctamente el destino de los barros de la planta en base a estudios preliminares y el cálculo de la periodicidad y volumen a remover. • Emplear bombas enterradas de manera que los ruidos se disipen dentro del mismo edificio de la planta. • Instalar grupos electrógenos y sistemas de alarma en la planta de tratamiento y estaciones elevadoras. • Instalar un sistema de cuantificación exacta de los componentes químicos para la potabilización. • Diseñar las estructuras necesarias para el correcto almacenamiento de los productos químicos, en especial el gas cloro. <p>SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalar la cañería de distribución a por lo menos 3 metros de la red cloacal. <p>CALIDAD Y CONTINUIDAD DEL SERVICIO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar las rutas de circulación y acceso de camiones distribuidores. • Estipular la capacidad del sistema de forma de poder distribuir gran cantidad de agua durante los períodos de alto consumo.
Indicadores de éxito:	N° de impactos ambientales potenciales evitados.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	Variable según la complejidad del sistema y la etapa (construcción, operación)

Medida 2. Instalación de grupos electrógenos		
Etapa de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto/s a corregir o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> Deficiencias operativas de los servicios por contingencias en otros servicios (cortes de energía, inundaciones).
Prioridad		Máxima
Carácter		Preventivo-Evitador
Efectividad esperada		Muy alta
Costo estimado		Muy Alto
Descripción:		<ul style="list-style-type: none"> Los cortes de energía si bien son una causa menor de la interrupción de los servicios pueden causar inconvenientes en el funcionamiento de la planta y otras instalaciones que requieran el uso de energía eléctrica para su funcionamiento. Es conveniente instalar grupos electrógenos los que deben ser mantenidos en condiciones óptimas de funcionamiento en el momento de la emergencia.
Indicadores de éxito:		N° de inspecciones a las plantas.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 3. Efectuar el cierre de los pozos domiciliarios existentes		
Etapa de aplicación:		CONSTRUCCIÓN – OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> Riesgos de salud de la población por consumo de agua contaminada. Alteración del agua subterránea.
Prioridad		Alta
Carácter		Preventivo – Evitador
Efectividad esperada		Alta
Costo estimado		Bajo
Descripción:		<ul style="list-style-type: none"> Cerrar aquellos pozos de explotación de agua subterránea que puedan ser reemplazados por el suministro de agua de red. Prohibir la perforación de nuevos pozos en el área servida. En los casos de pozos utilizados para riego, si bien puede ser necesario que sigan operando, deben colocarse medidores a fin de poder estimar correctamente la extracción real cuando dichos pozos explotan el mismo acuífero que abastece de agua potable a la población. Por otro lado, en dichos casos, deberá garantizarse mediante inspecciones que los mismos sean independientes y no estén conectados a los tanques de agua.
Indicadores de éxito:		N° de pozos cerrados. N° de medidores colocados en pozos para riego.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 4. Seguimiento y participación en las políticas de planificación y desarrollo urbano		
Etapa de aplicación:		PLANIFICACIÓN – OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir y/o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo no planificado inducido o facilitado por la nueva infraestructura.
Prioridad		Media
Carácter		Preventivo-Evitador
Efectividad esperada		Muy alta
Costo estimado		Muy bajo
Descripción:		<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda coordinar con las autoridades de planeamiento urbano la elaboración, implementación y control de las políticas de desarrollo urbano y de prevención de asentamientos ilegales. Dichas políticas deben incluir componentes ambientales a fin de prevenir posibles impactos derivados del desarrollo no planificado e inducido o facilitado por la nueva infraestructura y servicios del sistema de abastecimiento de agua potable. Es conveniente establecer un cronograma de reuniones periódicas, con funcionarios a nivel Municipal o Provincial.
Indicadores de éxito:		Porcentaje de la población satisfecha con las políticas de desarrollo implementadas. N° de reuniones de funcionarios a nivel Municipal o Provincial.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 5. Realizar inspecciones durante la obra y operaciones		
Etapa de aplicación:	CONSTRUCCIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos múltiples por fallas en la construcción. • Obstrucción del drenaje superficial. • Deterioro de instalaciones de servicios. • Incremento del riesgo de accidentes. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar, mediante inspecciones planificadas y sorpresivas, la aplicación de las medidas de seguridad e higiene laboral y el estado de las maquinarias (Medida 7), la instrucción de los operarios (Medida 10 y Medida 44), el estado de la señalización y barreras en el área de influencia de las obras (Medida 11), y el seguimiento estricto de la metodología y características de obra planificadas (Medida 1). 	
Indicadores de éxito:	Nº de infracciones por auditoría.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	Diaria (construcción) Mensual (operación)	

Medida 6. Establecer un programa de información con los usuarios		
Etapa de aplicación:	CONSTRUCCIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Molestias causadas durante las obras de construcción o mantenimiento (reparaciones de veredas, pavimentos). • Descontento con el sistema de abastecimiento. • Riesgos por deficiencias de mantenimiento, incluido el cese del funcionamiento (contingencias operativas). 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Muy alta	
Costo estimado	Muy Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Se debe lograr una mayor aceptación de las obras mediante una campaña de difusión previa, informando a los posibles damnificados las características de la obra, los sitios y horarios de realización de los trabajos, y las medidas previstas para minimizar, compensar o monitorear los impactos sobre la población. • Dado que los reclamos de los clientes representan una fuente de información relevante para identificar problemas durante la construcción y operación del sistema, es indispensable implementar un método por el cual, además de atender quejas y notificaciones, éstas se registren en forma estadística. • Para ello, durante las campañas de difusión y por todos los medios disponibles de comunicación (Medida 11 y Medida 13) se deberá proveer a los vecinos de un mecanismo eficiente para realizar denuncias y reclamos (números telefónicos, direcciones de correo, oficinas con horario de atención, funcionarios disponibles, etc.). • Además se deberá concientizar a la población de la utilidad y necesidad de usar este mecanismo de comunicación con la empresa encargada del sistema. 	
Indicadores de éxito:	Cantidad de reclamos hechos y atendidos. Porcentaje de la población satisfecha con la/s decisiones tomadas.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	Cuatrimstral	

Medida 7. Implementación de las disposiciones legales vigentes en materia de higiene y seguridad en el trabajo		
Etapa de aplicación:	CONSTRUCCIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de accidentes de trabajo durante la construcción del sistema de abastecimiento de agua potable. • Riesgos sanitarios de los operarios y de la población. • Molestias a la población. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Muy bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Obligatoriedad en el uso de máscaras, guantes y botas de goma. • Concientización del personal en materia de legislación, reglamentación, y normas de higiene y seguridad en el trabajo (Medida 10 y Medida 44). • Las maquinarias deben estar en perfecto estado de conservación y funcionamiento para no emitir ruidos ni gases inadecuados. • Las instalaciones de almacenamiento de productos químicos en la planta de tratamiento deben poseer todos los elementos para la solución de contingencias e poseer carteles indicativos a fin de evitar el manejo inadecuado de estos productos, en especial si se utiliza cloro gaseoso. 	
Indicadores de éxito:	N° de trabajadores que no utilizan guantes y/o máscaras. Nivel de ruido generado por las maquinarias en relación al ruido normal en el área. N° accidentes registrados.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Semanal

Medida 8. Mantener un sistema de control sobre los monitoreos de calidad		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgos de salud de la población. • Deterioro de la calidad de la fuente de agua. • Deterioro del sistema de abastecimiento de agua potable. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Todos los resultados provenientes de muestreos de calidad del agua, caudales y presiones en el sistema (Medida 18, Medida 31, Medida 37, Medida 54 y Medida 55) deberán integrarse para su análisis estadístico a corto y largo plazo. Este análisis incluirá la comparación para los mismos puntos a lo largo del tiempo, así como la comparación en un mismo momento de los resultados de distintos puntos. • También se mantendrá un monitoreo sobre el cumplimiento de los diseños experimentales en cada uno de los muestreos (número de muestras, frecuencia, métodos de análisis), en particular de aquellos que respondan a normas legales. • En caso de detectarse puntos de contaminación deberá asegurarse la aplicación del procedimiento correspondiente, que debe formar parte del plan de contingencias (Medida 9). 	
Indicadores de éxito:	N° de muestreos que cumplen con el diseño experimental establecido.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 9. Elaborar “Planes de Contingencias” y sistemas de alarma específicos		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Impactos múltiples por desperfectos o contingencias. Impactos por deficiencia en el tratamiento del agua. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Media	
Costo estimado	Bajo (corto plazo) – Muy Bajo (largo plazo)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> El Proyectista debe dar los lineamientos técnicos para el Plan. Antes del inicio de la operación del sistema deberá, obligatoriamente, elaborarse un Plan de Contingencias apropiado para cada eventualidad y cada etapa de operación, que tendrá como objetivos: (1) minimizar y controlar las eventuales emergencias en el área de operaciones del proyecto, (2) resumir la información básica para dar respuesta a incidentes típicos en sistemas de abastecimiento de agua potable, y (3) la adopción de una herramienta de aplicación inmediata cada vez que un incidente pueda amenazar seriamente el medio, la salud humana y/o los bienes de la comunidad, así como impedir la provisión de agua. El Plan de Contingencias deberá sugerir los métodos y procedimientos a implementar para la prevención de las situaciones de emergencia. Se recomienda integrar el Plan de Contingencias para la planta de tratamiento a un Programa de Contingencias de todo el servicio de captación y distribución de agua (OPS, 1990). Para la elaboración del Plan de Contingencias se sugiere adoptar los lineamientos y recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 1993). 	
Indicadores de éxito:	Nº de planes de contingencia elaborados / Nº EIA	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 10. Realizar cursos de capacitación antes de la construcción		
Etapa de aplicación:	CONSTRUCCIÓN	
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de accidentes de trabajo durante las obras de construcción. Impactos múltiples por fallas en la construcción. Molestias a la población. Obstrucción del tránsito y transporte público. Obstrucción del drenaje superficial. Deterioro de instalaciones y servicios. 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Muy alta	
Costo estimado	Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda implementar cursos de capacitación a todas las personas que participan directa o indirectamente de las tareas de construcción. Estos cursos deben ser realizados antes del inicio de las obras e incluir obligatoriamente las siguientes temáticas: higiene y seguridad en el trabajo, seguridad industrial, técnicas de protección y manejo ambiental, y reglamentaciones legales vigentes. El grado de conocimiento adquirido debe evaluarse mediante una prueba. Se recomienda fomentar durante los cursos y sucesivas inspecciones la actitud de atención y revisión constante de las tareas de construcción por parte de los operarios y consulta permanente con los supervisores acerca de situaciones no previstas (interferencias con servicios o con cursos de agua, hallazgos arqueológicos, por ejemplo). Disponer un número telefónico de atender los reclamos de usuarios y el público en general frente a no cumplimientos del personal que participa en las obras. 	
Indicadores de éxito:	Examen a los participantes (inmediato y como auditoría).	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 11. Señalización de las instalaciones y zonas de obra durante la construcción		
Etapas de aplicación:	CONSTRUCCIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de accidentes de trabajo de los operarios y la población durante la construcción o mantenimiento (reparaciones). • Molestias a la población. 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Muy alta	
Costo estimado	Muy bajo (por unidad)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Deben instalarse carteles explicativos, preventivos y/o restrictivos que individualicen los lugares que impliquen amenazas o riesgos para la salud de las personas. El estado de los carteles deberá ser controlado mensualmente. • Se deberán instalar barreras o cercados provisorios (cintas, luces, vallas) que prevengan accidentes en caso de tener que cerrar el acceso a cursos de agua o lagos durante la construcción de las obras de captación. • Se deberán identificar sitios de acceso rápido y prioritario (pasarelas para discapacitados, por ej.). 	
Indicadores de éxito:	Nº de accidentes producidos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 12. Participación pública en la toma de decisiones		
Etapas de aplicación:	PLANIFICACIÓN-OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Descontento con el sistema de abastecimiento de agua potable. 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Muy alta	
Costo estimado	Muy Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • La opinión e información aportada por las personas familiarizadas con el área de influencia trae a menudo buenos resultados (MEDIDA 6), tanto sobre la situación ambiental del área a ser afectada como acerca de sus intereses en relación a la protección de los recursos naturales. Es fundamental considerar las críticas, observaciones e inquietudes presentadas por la comunidad respecto del proyecto y sus alternativas. • La participación de la población y el control social pueden estimularse de diversas maneras, por ejemplo, a través de la práctica audiencias. Un mecanismo más permanente para la discusión de las cuestiones de saneamiento involucra, sin embargo, la constitución de consejos integrados por el gobierno municipal, la legislatura, la comunidad y la iniciativa privada, preferencialmente a través de organizaciones no gubernamentales representantes de la sociedad civil. Es fundamental que tengan poder de decisión en relación a la planificación de las acciones, a la fijación de impuestos y tarifas, y al control y fiscalización, entre otras atribuciones. Las funciones de los consejos deben complementarse con funciones consultivas y normalizadoras. • En especial se recomienda la implementación de audiencias públicas obligatorias y simposios para divulgar y discutir cualquier obra u emprendimiento de envergadura que pudieran repercutir o afectar negativamente alguna etapa vinculada al sistema de abastecimiento de agua potable, y talleres de trabajo para la identificación de los objetivos primarios del manejo ambiental. • Para asegurar una participación efectiva del público se recomienda identificar los grupos sociales que pudieran interesarse en el proyecto y de las peculiaridades de su área de influencia, por ejemplo: (1) asociaciones ambientales de carácter general o dedicadas a la defensa de los recursos ambientales del área afectada; (2) asociaciones comerciales, empresarios o comerciantes cuyas actividades pudieran estar afectadas por la implementación del proyecto; (3) asociaciones científicas o corporaciones profesionales interesadas en cuestiones técnicas suscitadas por el proyecto; (4) representantes de medios de comunicación, agentes de divulgación de información. 	
Indicadores de éxito:	Porcentaje de la población satisfecha con las decisiones tomadas. Cantidad de audiencias públicas realizadas. Grado de concurrencia / diversidad (ONGs).	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 13. Implementar campañas de educación ambiental		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – CONSTRUCCIÓN - OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos estéticos en las proximidades. • Riesgos dados por el uso inadecuado del sistema. • Descontento o percepción negativa del sistema. 	
Prioridad	Media	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Antes del inicio de las obras de construcción (2-4 semanas), explicar a los pobladores aledaños y a los ubicados aguas debajo de los sitios afectados por las obras, en particular a aquellos vecinos del futuro predio de la planta de tratamiento, las ventajas sanitarias y ambientales del abastecimiento de agua potable, mediante los medios más apropiados en cuanto a las características socio-culturales de la población implicada, dando prioridad a los medios directos (audiencias públicas, entrevistas, cursos) para estos últimos (Medida 6), e indirectos (folletos explicativos en las facturas del servicio) para toda la población servida por la red. • Si la envergadura del proyecto lo justifica, deberá llevar a cabo una Audiencia Pública para explicar las características del mismo y los impactos ambientales previstos. • Programar visitas periódicas orientadas de escolares y la comunidad a la planta de tratamiento, con la finalidad de difundir conocimientos sobre las técnicas y beneficios del tratamiento del agua. • Se recomienda la implementación de cursos de capacitación ambiental para los usuarios respecto de la preservación del medio ambiente, y pautas de procedimientos relacionadas con las medidas de manejo a implementar, por ejemplo el uso correcto de los recursos biológicos en la cuenca. Dichos cursos deberán estar integrados por charlas explicativas breves y claras, exhibición de material gráfico y distribución de folletos de lectura simple. Los temas a ser desarrollados deberán ser de interés para las comunidades del entorno. También se podrían incluir visitas de campo donde se constatará el cumplimiento de las medidas de manejo. • En los cursos o charlas orientativas, así como en sucesivas publicaciones o folletería se deberá hacer mención al uso correcto del sistema, en particular a los usos correctos del agua potable distribuida (evitar el derroche), a los costos de potabilización y a la necesidad, frecuencia y método de limpieza de los tanques de agua. También se deberá fomentar un sistema de comunicación entre los usuarios y el organismo o empresa responsable del sistema (Medida 6). • Se recomienda la difusión de un programa de radio local, informativo sobre los aspectos ambientales del área de influencia, y los distintos aspectos del estudio ambiental realizado. • Garantizar que toda la población reciba la información. 	
Indicadores de éxito:	<p>Entrevistas a la población.</p> <p>N° de cursos dictados.</p> <p>Grado de concurrencia a los cursos dictados.</p>	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	Anual	

Medida 14. Estimulación de líneas de investigación aplicada		
Etapa de aplicación:		PLANIFICACIÓN – OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Impactos múltiples relacionados con: la calidad del agua superficial y subterránea, los hábitats naturales, infraestructura y asentamientos humanos, uso del recurso agua, calidad de vida humana. 	
Prioridad	Media	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio-Alto, según proyecto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda formular o incentivar investigaciones directamente aplicadas a conocer la dinámica de la fuente de agua, y a comprender las influencias del ecosistema (ciclo de nutrientes, diversidad y trama trófica de las comunidades acuáticas) y el funcionamiento del régimen hidrológico, para poder evaluar el impacto de la captación de agua. Son necesarias las siguientes líneas de investigación y desarrollo: <ol style="list-style-type: none"> Tratamiento de agua: Mejora de los procesos y sistemas existentes, y desarrollo de nuevas tecnologías para cumplir los requerimientos legales a bajo costo. Los esfuerzos deberán ser dirigidos hacia el reemplazo de la utilización de productos químicos, optimización de la calidad de los lodos para su reuso o disposición, ahorro de las necesidades de terreno, uso de filtros. Dinámica de la fuente de agua: control de la calidad y cantidad del agua de acuerdo al estudio de su dinámica. Eficiencia en el tratamiento y disposición de lodos, alternativas tecnológicas para su tratamiento y reutilización. Investigación epidemiológica: el monitoreo y evaluación de guías recomendadas para estudios epidemiológicos cuidadosamente diseñados son altamente deseables. Coordinación con el sector salud. Identificación de líneas prioritarias según las necesidades detectadas por organismos municipales, provinciales o nacionales. Experimentación y control de las técnicas y resultados desarrollados mediante las tareas de investigación. Se recomienda establecer contactos interinstitucionales entre organismos ejecutivos y de servicios con organismos académicos (Universidades, Institutos). Fomentar la presentación de proyectos a organismos de financiación nacionales e internacionales. Es conveniente establecer un cronograma de reuniones periódicas, por lo menos semestralmente. 	
Indicadores de éxito:	Resolución efectiva de preguntas y/o hipótesis planteadas. Grado de validación de las predicciones planteadas. Cantidad de trabajos publicados por año. Número de estudiantes/becarios asignados al proyecto. Cantidad y montos de subsidios obtenidos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 15. Restauración de la vegetación		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de la vegetación nativa. • Perturbación de la arboleda urbana. • Aumento de erosión eólica y fluvial a causa de deforestación y limpieza de la superficie. 	
Prioridad	Muy Alta	
Carácter	Restaurador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio-Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Las zonas de vegetación ribereña son de gran importancia, ya que reducen los procesos de erosión y la subsecuente introducción de sólidos en los cuerpos de agua. En estos casos es altamente recomendable restaurar la vegetación de las áreas deforestadas con especies nativas, ya que son las que están mejor adaptadas a las características del lugar (en particular, los suelos). • Las actividades de revegetación podrían realizarse por medio de la instalación de un vivero de plantas nativas. Debe tenerse en cuenta que el período crítico del estado de plántula en las especies leñosas es superior al de las herbáceas, por lo que están durante más tiempo expuestas a condiciones adversas y, por lo tanto, su capacidad de competir por los recursos es menor. • La mortalidad de las especies plantadas puede aumentar considerablemente por la presencia de hierbas invasoras que compiten por el agua y los nutrientes, sobre todo si se trata de especies forestales, cuando las plantas son pequeñas. Para lograr una exitosa restauración de la vegetación nativa puede ser necesario remover las especies invasoras. • En caso que no sea posible utilizar especies nativas se puede reforestar con especies exóticas de rápido crecimiento (sauces, eucaliptos, álamos), por ejemplo en las zonas desmontadas para construir la planta de tratamiento. Deben tomarse ciertos recaudos para que la implantación sea exitosa, por ejemplo, tener en cuenta los requerimientos ecológicos de las especies en función de su origen y las características del sitio en donde crecerán. La implantación de este tipo de especies debe ser estudiada cuidadosamente ya que puede generar diversos efectos adversos ya sea sobre el paisaje, las especies vegetales nativas, y la fauna (al modificar la habitabilidad del sitio). • En caso de que hubiesen ocurrido perturbaciones sobre la arboleda urbana, se deberá reemplazar los individuos eliminados con nuevas plantas de la misma u otra especie, teniendo en cuenta: el tamaño y forma de los individuos (tanto de las copas como de las raíces) en función de las limitaciones físicas, las condiciones ambientales en relación a los requerimientos ecológicos y fisiológicos, la tasa de crecimiento, si son deciduos o perennes, la época de floración, aspectos estéticos, su función como aislantes de ruidos o barreras visuales, y aspectos relacionados con la salud de la población (por ejemplo, que no ocasionen alergias). 	
Indicadores de éxito:	<p>Porcentaje del área deforestada que es revegetada.</p> <p>Nº de individuos que sobreviven/ Nº de individuos plantados.</p>	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 16. Restauración de la fauna		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbación de la fauna terrestre. • Perturbación de la fauna acuática. • Alteración de las poblaciones de peces. 	
Prioridad	Baja	
Carácter	Restaurador	
Efectividad esperada	Media	
Costo estimado	Medio-Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Para facilitar la recuperación de la fauna terrestre se recomienda preservar los remanentes de vegetación en las cercanías de las áreas deforestadas, y reforestar las mismas con vegetación nativa. • En el caso de las poblaciones piscícolas deberá controlarse su abundancia. • En los casos donde se apliquen desinfecciones de cañerías, disminuir la concentración de cloro previo al vuelco en cursos de agua. 	
Indicadores de éxito:	<p>Tasa de reproducción de las especies presentes.</p> <p>Diversidad de especies.</p>	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Semestral

Medida 17. Restauración de las funciones ecológicas		
Etapa de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> • Destrucción de ambientes litorales. • Alteración de la llanura de inundación de los cursos. • Cambios en la dinámica de nutrientes y descomposición. • Modificación de la calidad del agua para la vida acuática. • Disminución de la capacidad de autodepuración. • Alteración de las comunidades acuáticas.
Prioridad		Alta
Carácter		Restaurador
Efectividad esperada		Media
Costo estimado		Medio-Alto
Descripción:		<ul style="list-style-type: none"> • Se recomienda estimular todas las líneas de investigación relacionadas a las funciones ecológicas del ecosistema bajo estudio (Medida 14). • Recrear las condiciones favorables para aumentar la producción de la vegetación nativa, restituyendo las características del suelo (por ejemplo, al extraer y almacenar el suelo en panes de forma tal de que luego se puedan volver a colocar), y eliminando las especies exóticas o invasoras. • El dragado para controlar procesos de sedimentación (Medida 40) puede aumentar el reciclaje de los nutrientes que se encuentran en los sedimentos ubicados en el lecho del curso. • Para evitar la eutroficación es necesario controlar los vertidos provenientes de actividades agrícolas, industriales, y urbanos aguas arriba y aguas abajo de la captación (Medida 21). • Los nutrientes y contaminantes pueden ingresar al cuerpo de agua por lavado del suelo. Esto debe evitarse ya que la disminución de la cantidad de nutrientes en el agua (por ejemplo, tratándola con sulfato de aluminio para reducir el fósforo en solución) es sumamente costoso. Debe tenerse en cuenta que la vegetación ribereña y litoral puede disminuir la entrada al cuerpo de agua de nutrientes y contaminantes lavados del suelo. En este sentido, la restauración de la vegetación en las zonas afectadas (Medida 15) contribuye a atenuar el proceso de eutroficación y la contaminación del cuerpo de agua. • De ser necesario, deberá elaborarse un Plan de Manejo específico del cuerpo de agua.
Indicadores de éxito:		<ul style="list-style-type: none"> • Grado de recuperación de las condiciones originales.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Semestral

Medida 18. Monitorear y reducir el agua no contabilizada		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos múltiples por pérdida de agua en el sistema. • Derroche del recurso hídrico. 	
Prioridad	Muy Alta	
Carácter	Mitigador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Los motivos para la existencia de agua no contabilizada son: (1) pérdidas por diseño inadecuado, (2) construcción deficiente o mantenimiento pobre, (3) deficiencias en la medición del consumo, y (4) conexiones ilegales o robo de agua. • Para determinar y monitorear el volumen de agua no contabilizada es necesario realizar mediciones del caudal en varias etapas del sistema: captación, tratamiento, caudal en conductos principales y micromedición del consumo (Medida 37, Medida 54 y Medida 55). • Es importante asegurar el correcto funcionamiento de los medidores de agua captada y producida. • La medición del consumo verdadero del agua es complicada pues son pocos los casos donde se mide el agua utilizada para combate de incendios, limpieza de calles, surtidores públicos y parques. En lo posible se debe tratar de colocar medidores para todos estos usos. • La abundancia de pérdidas físicas significa que la red de distribución, o parte de ella, ya no es adecuada para un área de excesiva densidad poblacional o ha alcanzado el límite de su vida útil y debe ser reemplazada. • Las otras pérdidas pueden solucionarse legalizando o eliminando las conexiones ilegales, reemplazando medidores defectuosos y asegurando la facturación precisa del consumo. • En todos los casos deberá establecerse un programa de control de pérdidas a fin de disminuir el nivel de pérdidas, el uso ilegal de agua, el derroche, y los errores en las mediciones. El objetivo global de un programa de control de pérdidas es diagnosticar las causas de dichas pérdidas y formular e implementar acciones tendientes a reducirlas a un mínimo técnica y económicamente aceptable. Para alcanzar este objetivo deberán llevarse a cabo una serie de proyectos y tareas tales como el relevamiento de la red de distribución, el control de roturas (a fin de reducir a un mínimo el tiempo entre una rotura y su reparación), la medición de los flujos de agua, presiones y niveles, el mejoramiento de las conexiones con las viviendas, la disminución del uso excesivo de agua, el mantenimiento de las instalaciones y de la red de distribución, la revisión de los criterios de diseño y construcción (WHO 1994). 	
Indicadores de éxito:	Porcentaje de agua no contabilizada.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Trimestral

Medida 19. Adecuar horarios y área de influencia de las obras para reducir molestias e impactos estéticos		
Etapa de aplicación:	CONSTRUCCIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Molestias sobre la población vecina. • Impactos estéticos sobre la población vecina. 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Mitigador	
Efectividad esperada	Media	
Costo estimado	Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Las obras y tareas en zonas públicas deberán llevarse a cabo con la mayor velocidad posible, en los horarios que afecte al menor número de transeúntes y pobladores, y concentradas en áreas definidas para no entorpecer simultáneamente las actividades de la comunidad. • Toda vez que sea necesario, se colocarán corredores señalados para facilitar la circulación peatonal. • En caso de interrupciones del tráfico, puede tornarse necesario redistribuir líneas de transporte público y la circulación de automóviles y camiones. • Durante la realización de las obras se debe tener especial cuidado en la ubicación de las escombreras y tratar de reducir a un mínimo la dispersión del material. • Una vez finalizadas las construcciones, se deberá proceder al tapado de zanjas, retiro del material sobrante, refacción de veredas, y refacción de pavimentos de forma tal de restaurar las condiciones originales. 	
Indicadores de éxito:	Encuestas a los vecinos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Sólo una vez

Medida 20. Rescatar hallazgos arqueológicos o paleontológicos		
Etapa de aplicación:	CONSTRUCCIÓN	
Efecto/s a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Destrucción de sitios arqueológicos o paleontológicos por el emplazamiento de las obras. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Compensatoria	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Muy Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Algunas de las obras implican excavaciones. De no existir estudios arqueológicos o paleontológicos en la zona de no se puede descartar el hallazgo de artefactos o restos fósiles, en cuyo caso deberán reportarse al organismo oficial correspondiente, detener las obras y proceder al rescate de los hallazgos. Especificar funcionarios y números telefónicos. 	
Indicadores de éxito:	N° de reportes efectuados. N° de hallazgos destruidos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Permanente durante la construcción

5.4.2. Medidas Relacionadas con la Fuente de Agua

Medida 21. Coordinar y planificar el uso de la cuenca y/o de la fuente de agua		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN - OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de las condiciones de vida de la población. Alteración en el caudal y/o recarga de fuentes de agua superficiales y subterráneas como consecuencia de la explotación de otra fuente asociada hidráulicamente. Conflictos con otros usuarios del agua. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador; Mitigador o Restaurador (a largo plazo)	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Los programas de protección de los recursos hídricos no deberían considerar a los cuerpos de agua aisladamente, ya que la calidad del agua de una fuente depende de los usos y actividades desarrolladas en toda la cuenca hidrográfica. Con tal fin son de gran utilidad los mapas de riesgo y vulnerabilidad (Medida 25) La correcta planificación exige conocer el funcionamiento del sistema ambiental y los usos en toda la cuenca, lo cual requiere información sobre la calidad del agua, y fuentes de contaminación, entre otros, tanto aguas arriba como agua abajo de los sitios de captación. Las aguas superficiales y subterráneas conforman un sistema muy complejo, cuyas partes generalmente se encuentran interconectadas. Es decir que las acciones aplicadas a uno de sus componentes produce modificaciones en los demás. Por lo tanto, el mejor aprovechamiento de los recursos hidráulicos totales sólo se puede conseguir mediante un uso integrado de las aguas superficiales y las subterráneas. Por ejemplo, los efectos desfavorables sobre otros usuarios que tienen los bombeos al disminuir el caudal de un río interconectado pueden ser minimizados e incluso eliminados, si los volúmenes y tiempos de bombeo se programan adecuadamente en el tiempo y en el espacio. Esto sólo se puede llevar a cabo si existe una organización legal y administrativa que permita realizar una explotación planificada y controlada de los recursos (Autoridad de Cuenca). De existir una Autoridad de Cuenca (u organismo equivalente), se debe consultar a la misma sobre el proyecto a realizar, tomando conocimiento de las distintas actividades en la cuenca donde se llevará a cabo la obra. La Autoridad de Cuenca debe evaluar que el desarrollo de la obra no perjudique las actividades ya existentes, tales como otros sistemas de captación de agua potable, o actividades recreativas. Una vez en marcha el proyecto se debe entregar a la Autoridad de Cuenca una copia de todos los estudios realizados, como así también los registros de las obras realizadas. De este modo, el organismo de control, al reunir toda la información existente sobre la misma, podrá ser consultado en caso de realizarse nuevas obras. A su vez, ésto contribuye a mejorar el conocimiento sobre la cuenca y por lo tanto a optimizar su aprovechamiento sin comprometer la disponibilidad y calidad de los recursos ambientales. De no existir una Autoridad de Cuenca, es recomendable la conformación de una entidad similar con el fin de evitar interferencias entre los distintos usos y, además, contribuir a la recopilación de la información existente. Esto facilita su utilización, ya que muchas veces los datos no pueden ser reproducidos, o deben volver a obtenerse con la consiguiente inversión de tiempo y dinero que podría ahorrarse. Las instituciones que pueden funcionar como Autoridad de Cuenca pueden ser las municipalidades, por ejemplo en un departamento de hidráulica, y los gobiernos provinciales. En muchos casos puede ser de gran utilidad la existencia de organismos interprovinciales, en situaciones de cuencas muy extensas o complejas. Se debe consultar también a otros órganos encargados del manejo y monitoreo de las cuencas (gobiernos municipales, provinciales, Universidades, ONGs), a fin de coordinar intereses y definir los tipos de usos y características de los mismos en los distintos puntos de la cuenca. 	
Indicadores de éxito:	Cantidad de quejas o reclamos de los usuarios.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	Semestral	

Medida 22. Realización de estudios hidrogeológicos previos		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de la fuente de agua a través de otra que se halla conectada hidráulicamente. Alteración en el caudal y/o recarga de fuentes de agua superficiales y subterráneas como consecuencia de la explotación de otra fuente asociada hidráulicamente. Variación en la relación agua superficial – agua subterránea. Modificación del comportamiento hidráulico de los acuíferos. Intrusión marina. Formación de conos salinos. Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras. Disminución de la porosidad y subsidencia. Sobreexplotación y agotamiento del recurso. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Evitador	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Cuanto mayor sea el conocimiento sobre el sistema a explotar, mejor será la planificación para lograr un manejo adecuado del mismo. Los estudios deben incluir características hidrogeológicas, tipos de acuíferos y sus interrelaciones, características climáticas, hidrografía, topografía, redes de flujo, relaciones agua superficial – agua subterránea, la calidad química de las aguas, relaciones agua dulce – agua salada, zonas de recarga y descarga, cálculo de reservas, y la posibilidad de contaminación por acción antrópica para lo cual deben elaborarse mapas de riesgo y vulnerabilidad (MEDIDA 25). 	
Indicadores de éxito:	Número de impactos ocurridos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 23. Balance hídrico del sistema		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN-OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Impacto sobre los componentes asociados al sistema explotado. (como disminuciones en los caudales y recarga). Sobreexplotación y/o agotamiento del recurso (lagos, lagunas, acuíferos, manantiales). Variación en la relación agua superficial - agua subterránea. Modificación del comportamiento hidráulico del acuífero. Intrusión marina. Formación de conos salinos. Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras. Impacto sobre la recarga del acuífero por pérdidas en las redes de distribución. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Evitador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Alto – Medio (según la disponibilidad de datos)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> El cálculo del balance hídrico del sistema permite estimar el volumen de agua que se puede explotar para realizar un manejo sustentable del recurso, es decir, para evitar impactos no deseados. Para un cálculo real del balance se debe contar con registros de los factores que influyen sobre los componentes del ciclo hidrológico, especialmente sobre la evapotranspiración: radiación, temperatura, duración del día, presión, humedad y viento. Estos registros permiten ir ajustando los valores utilizados para calcular este componente. También es fundamental la disponibilidad de registros de precipitaciones y escurrimiento superficial, que constituyen por sí mismos componentes del balance. Vale recordar que otro de los componentes principales del balance es el caudal de agua extraído del sistema tanto por obras preexistentes, como captaciones para abastecimiento de agua potable o para riego (durante las etapas de planificación y operación), como por la obra actual (etapa de operación). Por lo tanto es esencial la existencia de medidores en las tomas de agua. La existencia de registros continuos permiten ir ajustando los valores de los distintos parámetros involucrados en el cálculo. 	
Indicadores de éxito:	Número de impactos detectados.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 24. Elaboración de modelos del sistema en explotación		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN - OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Prácticamente todos los impactos generados por la explotación de recursos hídricos. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Evitador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> El modelo de un sistema permite realizar simulaciones y así evaluar las reacciones del mismo ante acciones externas, como puede ser la ampliación de obras de captación. Estas simulaciones facilitan la identificación y valorización de los impactos posibles generados por la utilización del recurso, y asimismo permiten elaborar acciones para prevenir o atenuar estos impactos. Lamentablemente, el desarrollo y verificación de modelos necesita de un gran caudal de información, tanto actual como histórico, no siempre disponible. La importancia del desarrollo de modelos confiables radica en la rapidez con que permiten analizar distintas situaciones y/o alternativas, facilitando y acelerando de este modo el proceso de toma de decisiones. Las aplicaciones de los modelos son numerosas y se pueden citar varios ejemplos de su utilización, por ejemplo en la ciudad de México (México City's Water Supply 1995); en California (Nishikawa 1997) y en la franja de Gaza (Yakirevich <i>et al.</i> 1998) para modelar la intrusión marina; en Iowa para modelar la descarga de manantiales (Zhang <i>et al.</i> 1996), en La Plata (Auge y Bucich 1995), para simulación de ríos (Varni <i>et al.</i> 1995) o lagunas (Torrente y Bonorino 1998). En caso de existir pocos datos, debe elaborarse un modelo simplificado, y preverse un plan de toma de datos para, en un futuro, obtener mejores simulaciones. Los modelos desarrollados deben quedar en poder del Ente Operador con la correspondiente capacitación del operario que deberá poseer capacitación terciaria, a efectos de que se puedan ir ajustando y consolidando con nueva información. El Manual de Instrucciones para operar el modelo deberá entregarse al responsable del servicio, Municipalidad y Autoridad de Cuentas. En todos los casos, se deberán establecer mecanismos para facilitar la coordinación y el seguimiento de la aplicación de los modelos por parte del operador del servicio, la Municipalidad y los funcionarios de la Autoridad de Cuentas (o equivalentes). 	
Indicadores de éxito:	Número de impactos detectados y prevenidos o mitigados.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 25. Elaboración de mapas de vulnerabilidad y de riesgo		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del agua debido a la mala ubicación de las captaciones, a la disposición de líquidos cloacales, lodos o desechos industriales sin tratar. Contaminación del río a través del acuífero. Contaminación del acuífero debido a la variación en la relación agua superficial – agua subterránea, a la modificación del comportamiento hidráulico del acuífero, a una intrusión marina, etc. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Evitador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Esto se aplica tanto a la explotación de aguas superficiales como subterráneas. En una primera etapa, estos mapas permiten identificar las zonas de riesgo de contaminación y así elegir correctamente el lugar seguro para ubicar las captaciones de agua. Una vez realizada esta elección, los mapas de vulnerabilidad permiten definir las zonas que deben ser protegidas - como las zonas de recarga, los pozos de abastecimiento -, y aquellas zonas de riesgo cuyo equilibrio debe ser controlado con mayor frecuencia. La identificación de los posibles peligros hace posible la programación de acciones de prevención. Además, los mapas de zonas protegidas facilita la toma de decisiones respecto del ordenamiento territorial. 	
Indicadores de éxito:	Calidad del agua cruda. Número de impactos detectados y prevenidos o mitigados.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 26. Métodos de prevención y control de la intrusión marina		
Etapa de aplicación:		PLANIFICACIÓN - OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> Intrusión marina Formación de conos salinos Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras
Prioridad		Máxima
Carácter		Preventivo – Evitador – Minimizador; Mitigador
Efectividad esperada		Alta (Preventivo); Media (Mitigador)
Costo estimado		Alto (Preventivo); Muy Alto (Mitigador)
Descripción:		
<ul style="list-style-type: none"> Existen varios métodos para prevenir o controlar la intrusión marina, cada cual con sus desventajas: <ol style="list-style-type: none"> Disminución del bombeo. Si la explotación es superior a la recarga o bien, aunque no lo sea, produce una penetración indeseable de la cuña salina, puede procederse a reducir el bombeo hasta que la posición de equilibrio sea la deseada. Reubicación de los centros de bombeo. Si la intrusión es debida a una excesiva concentración de los bombeos en unos pocos lugares próximos a la costa o a la explotación de pozos sobre la cuña salina, sin que la penetración media sea excesiva, se puede proceder a reubicar las captaciones o distribuirlas mejor. Esta situación debe estar muy bien planificada ya que el abandono de pozos, ya sea por salinización de los mismos u otras causas, puede provocar una recuperación de los niveles del agua subterránea, creando problemas de estabilidad en edificios y estructuras construidos en épocas de niveles bajos y por lo tanto sin problemas de agua en los cimientos. Hernández et al. (1989) analizan esta situación para el área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires y para la ciudad de Mar del Plata. Recarga artificial. Suponiendo una adecuada distribución de las captaciones, puede compensarse el sobrebombeo mediante recarga artificial en los lugares apropiados. Si se dispone de agua de recarga, y ésta es de calidad adecuada y se recibe a un caudal regulado, en general es más fácil y barato distribuirla directamente y reducir el bombeo. Sólo cuando el agua disponible debe ser tratada, y ese tratamiento se puede efectuar por infiltración en el terreno, o cuando el agua disponible debe ser regulada y esta regulación se puede conseguir económicamente por almacenamiento en el terreno (embalses de superficie muy caros y/o con excesiva evaporación), es viable el control de la intrusión marina por recarga. Sugio y Rahim (1993) analizan la eficiencia de la recarga artificial para proteger al acuífero de la intrusión marina mediante un modelo numérico. Establecimiento de barreras físicas: sólo pueden establecerse en acuíferos de escasa profundidad y escasa potencia. Barrera hidráulica de inyección. Si a lo largo de la costa se establece una recarga tal que en cualquier punto se tenga una elevación piezométrica superior al potencial del agua dulce preciso para evitar el flujo de agua salada hacia el interior, se tiene un efectivo control de la intrusión. Para este caso vale la misma salvedad que se hizo para la opción de recarga artificial. Bombeo en la cuña salina. La limitación de la penetración del agua salada también puede lograrse estableciendo una línea de bombeo dentro de la cuña salina a lo largo de la costa, tal que intercepte todo el flujo de agua salada hacia el interior. Ruiz Huidobro y Tófaló (1979) analizan la situación en Mar del Plata y las posibles formas de controlarla. 		
Indicadores de éxito:		Estabilidad de la interfaz agua dulce - agua salada.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 27. Monitoreo de la interfaz agua dulce – agua salada		
Etapa de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> Intrusión marina. Formación de conos salinos. Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras.
Prioridad		Máxima
Carácter		Preventivo; Mitigador
Efectividad esperada		Alta
Costo estimado		Alto (instalación) ; Medio (operación)
Descripción:		
<ul style="list-style-type: none"> Se debe controlar cuidadosamente el avance de la interfaz agua dulce - agua salada con una adecuada red de piezómetros de observación. El monitoreo debe incluir muestreos de agua, registros de salinidad, medición de niveles, etc. Las medidas de niveles en los piezómetros y pozos de observación son de gran importancia para establecer variaciones de potencial y determinar el flujo de agua en el sistema. Un ejemplo de la aplicación de este tipo de medida se describe en Hernández (1978) para los partidos de Quilmes y Berazategui, Buenos Aires, en Díaz Curiel, <i>et al.</i> (1991) para el acuífero costero de Almuñécar en Granada, en Izuka y Gingerich (1998), en Lavitt <i>et al.</i> (1997) para Australia. 		
Indicadores de éxito:		Estabilidad de la interfaz agua dulce - agua salada.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 28. Monitoreo de los niveles freáticos y piezométricos y construcción de las respectivas redes de flujo		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del río a través del acuífero • Alteración en el caudal y/o recarga de fuentes de agua superficiales y subterráneas como consecuencia de la explotación de otra fuente asociada hidráulicamente. • Extensión y profundidad de los embudos de bombeo. • Interferencia de pozos. • Variación en la relación agua superficial - agua subterránea. • Modificación del comportamiento hidráulico de los acuíferos. • Intrusión marina. • Formación de conos salinos. • Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras, o por mantos salinos. • Disminución de la porosidad y subsidencia. • Sobreexplotación y agotamiento del recurso. • Impacto sobre la recarga del acuífero por pérdidas en las redes de distribución. • Socavación en represas. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • El monitoreo permite detectar las modificaciones que pueda sufrir la superficie hidráulica y así evaluar los posibles efectos sobre los componentes asociados. • En aquellas regiones donde el nivel freático se encuentra a escasa profundidad, debe llevarse un registro sistemático de su profundidad en varios puntos del área abastecida, para detectar sitios y momentos sensibles a las infiltraciones en la red. • Las mediciones deben ser semanales, o eventualmente mensuales si el caudal de extracción, que también debe ser medido (Medida 39), no es variado y se observa una estabilización en la evolución de los niveles hidráulicos. Si las variaciones que pueden ser peligrosas son detectadas a tiempo se puede minimizar, y a veces hasta evitar, el impacto. Además, el monitoreo genera un caudal de información muy importante que contribuye al mejorar el conocimiento sobre el sistema explotado. Eventualmente, esta información puede ser utilizada en la elaboración de modelos. • Se recomienda consultar otros organismos implicados en el manejo y monitoreo del nivel de las aguas subterráneas (Municipios, Universidades), con la finalidad de coordinar esfuerzos, planificar muestreos conjuntos, ajustar la frecuencia de toma de datos, y evitar superposiciones de tareas. • En caso de existir monitoreos previos, es conveniente realizar nuevos en los mismos lugares, con la finalidad de facilitar la comparación de los niveles de las aguas subterráneas a lo largo del tiempo. 	
Indicadores de éxito:	Número de impactos detectados y prevenidos o mitigados.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	Anual o trimestral	

Medida 29. Monitoreo de la calidad del agua subterránea		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del agua debido a la mala ubicación de las captaciones, a la disposición de líquidos cloacales, lodos o desechos industriales sin tratar. Impacto sobre el volumen de descarga del río al mar. Contaminación del río a través del acuífero, y del acuífero debido a la modificación de su comportamiento hidráulico. Contaminación del agua debido a la mala aislación del pozo de abastecimiento. Variación en la relación agua superficial - agua subterránea. Intrusión marina. Formación de conos salinos. Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras. Sobreexplotación y agotamiento del recurso. Riesgos de salud para la población por deficiencias en el tratamiento. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Se deben realizar muestreos sistemáticos, con base en un diseño experimental de validez estadística, de parámetros físico-químicos y biológicos, a fin de detectar la presencia de fuentes de contaminación. Como mínimo debe evaluarse trimestralmente la concentración de nitratos y de bacterias coliformes fecales en caso de que el sistema local dependa de una fuente superficial, y mensualmente en caso de las fuentes subterráneas. Dependiendo del sistema monitoreado, los análisis químicos de rutina pueden limitarse a los elementos detectados como peligrosos en base a los mapas de riesgo. Esto permitirá abaratar costos. De todos modos es imprescindible continuar realizando análisis químicos completos, aunque pueden ser a intervalos de tiempo mayores, o al detectarse o producirse alguna acción especial (por ejemplo, el derrame de alguna sustancia peligrosa, o ampliación de una zona de cultivos, etc.). En estos casos se deberá evaluar la necesidad de incluir más elementos peligrosos a los análisis de rutina. El monitoreo permite detectar además variaciones en la composición química y/o isotópica de las aguas (debidamente tipificadas previamente en el diagnóstico ambiental), que pueden ser indicio de modificaciones en, por ejemplo, las relaciones agua superficial – agua subterránea (Payne 1980; Rao <i>et al.</i> 1987; Roldão <i>et al.</i> 1989; Panarello <i>et al.</i> 1993b) y/o agua dulce - agua salada, calidad del agua, etc. Si las variaciones que pueden ser peligrosas son detectadas a tiempo se puede minimizar, y a veces hasta evitar, el impacto. Además, el monitoreo genera un caudal de información muy importante que contribuye al mejorar el conocimiento sobre el sistema explotado. Eventualmente, esta información puede ser utilizada en la elaboración de modelos. Se recomienda consultar otros organismos implicados en el manejo y monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas (Municipios, Universidades), con la finalidad de coordinar esfuerzos, planificar muestreos conjuntos, ajustar la frecuencia de toma de datos, y evitar superposiciones de tareas. En caso de existir monitoreos previos, es conveniente realizar nuevos a las mismas profundidades y en los mismos lugares, con la finalidad de facilitar la comparación de la calidad de las aguas subterráneas a lo largo del tiempo. 	
Indicadores de éxito:	Concentración de coliformes fecales y totales. DBO. Oxígeno disuelto. Sólidos suspendidos. Contenido de nitratos. Número de impactos detectados y prevenidos o mitigados.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	<div>Anual o trimestral</div>	

Medida 30. Establecimiento de una red de aforos y monitoreo de los caudales	
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Variaciones en el caudal de un curso de agua por explotación de componentes asociados (por ejemplo, otros cursos, lagos, lagunas, acuíferos, manantiales) o por construcción de embalses. Problemas con usuarios ubicados aguas debajo de las tomas de agua. Impacto sobre el volumen de descarga del río al mar. Bajo rendimiento de la explotación debido a un cálculo equivocado del caudal seguro del río.
Prioridad	Máxima
Carácter	Preventivo – Minimizador
Efectividad esperada	Alta
Costo estimado	Alto
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> La estación de aforos mide el régimen del río a través del conocimiento de los caudales circulantes medios, instantáneos o aportaciones en cada unidad de tiempo más dilatada, hora, día, mes o año. Como base de todo estudio hidrológico, es preciso disponer de datos históricos de aforos. Una serie de datos, para ser realmente buena, necesita por lo menos de 20 años de observaciones y más aún si se trata de cuencas muy irregulares. De todo esto se deduce la necesidad de establecer una red básica de aforos aunque no exista la necesidad inmediata de llevar a cabo el estudio hidrológico de una cuenca. La estación de aforos cumple una doble finalidad, la de permitir el cálculo del caudal seguro del río y el monitoreo del caudal del mismo. Ejecución de la curva característica h-Q.
Indicadores de éxito:	<p>Nº de veces en que el caudal del río es menor que el caudal seguro calculado.</p> <p>Nº de impactos detectados y prevenidos o mitigados.</p>
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	
Mensual	

Medida 31. Control de la calidad de las aguas de las fuentes superficiales	
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad de las aguas superficiales utilizadas como fuente de agua. Riesgos de salud para la población por deficiencias en el tratamiento.
Prioridad	Media
Carácter	Preventivo-Minimizador
Efectividad esperada	Alta
Costo estimado	Medio
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Además de monitorear el agua que entra en la planta de tratamiento (Medida 37), es aconsejable realizar muestreos sistemáticos en la fuente, en particular si se trata de un cuerpo de agua lótico, basados en un diseño experimental de validez estadística, a fin de detectar cambios en las condiciones debidas a usos indebidos o no previstos en la cuenca, y prever las medidas correspondientes (Medida 21). Se deben evaluar parámetros físico-químicos (nitratos o nitrógeno inorgánico, fósforo total, oxígeno disuelto o DBO, sólidos totales en suspensión, y sólidos totales disueltos), parámetros bacteriológicos (bacterias coliformes fecales), concentraciones de nematodos, y concentraciones de pesticidas, compuestos orgánicos, iones, y metales pesados. Como las fuentes superficiales pueden ser de características disímiles (ríos, arroyos, lagos, embalses), el diseño experimental deberá adaptarse a las mismas y a la dimensión espacial del cuerpo de agua. Los muestreos deben incluir al menos dos estaciones representativas (invierno y verano, o estación seca y húmeda). En cualquier caso, deben seleccionarse lugares permanentes de muestreo para permitir la comparación a lo largo del tiempo, y deberán especificarse los protocolos de análisis y determinaciones de laboratorio, así como los estándares de comparación y la bibliografía técnico-científica de referencia. Se aconseja el control permanente de vertidos contaminantes clandestinos a la fuente de agua (tipo, concentraciones, volúmenes, frecuencias, ubicación espacial), así como el control de la calidad y cantidad de fertilizantes, biocidas y agroquímicos en general utilizados aguas arriba de la toma de agua. Se recomienda la interacción y consulta con otros órganos encargados del manejo y monitoreo epidemiológico y sanitario (organismos de Salud Pública, Universidades), a fin de coordinar esfuerzos, planificar los muestreos, ajustar la frecuencia de toma de datos, y evitar superposición de tareas.
Indicadores de éxito:	<p>Concentración de coliformes fecales y coliformes totales.</p> <p>DBO.</p> <p>Oxígeno disuelto.</p> <p>Concentración de agrotóxicos.</p> <p>Concentración de metales pesados.</p>
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	
Semestral	

5.4.3. Medidas Relacionadas con la Captación de Agua

Medida 32. Diseño adecuado de cada perforación individual e inspección durante la construcción		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – CONSTRUCCIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia del pozo debido a una mala ubicación de los filtros. Contaminación del agua debido al diseño inadecuado del pozo de abastecimiento. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Evitador	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Medio - Alto (según la complejidad del sistema)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Si la hidrogeología de la zona a explotar es muy compleja, conviene que el diseño de los pozos de explotación sea precedido por pozos de exploración y de esta forma permitir la correcta ubicación de los filtros. Además, un adecuado registro de las perforaciones ya realizadas facilita la elaboración de los diseños de los nuevos pozos. La elección de los materiales de construcción de las perforaciones es fundamental en la prevención de los fenómenos de corrosión e incrustación microbológica. Por otra parte se debe prestar especial atención a la necesidad de aislar el pozo en el tramo cercano a la superficie para evitar la posible contaminación a través del acuífero freático. Durante el momento de la construcción deberá haber un inspector que controle la correcta terminación y elaboración de los registros correspondientes. En todos los casos, los diseños se deberán adecuar a las especificaciones técnicas de los Pliegos de Contratación vigentes. 	
Indicadores de éxito:	Calidad del agua. Caudal de extracción. Eficiencia de los pozos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 33. Estimación de las áreas de influencia del bombeo y el descenso de nivel de agua provocado		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Extensión y profundidad de los embudos de bombeo. Interferencia de pozos. Variación en la relación agua superficial – agua subterránea. Modificación del comportamiento hidráulico del acuífero. Intrusión marina. Formación de conos salinos. Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras. Disminución de la porosidad y subsidencia. Sobreexplotación y agotamiento del recurso. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Evitador – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> La delimitación del área en donde se van a modificar las direcciones de flujo del agua subterránea permite evaluar las variaciones que sufrirán los niveles hidráulicos del acuífero y así identificar y prevenir los impactos que estas variaciones puedan ocasionar. Esta medida está desarrollada en profundidad en los capítulos de Estudios de Fuente a cuyas especificaciones deberá adecuarse. 	
Indicadores de éxito:	Extensión del área de influencia de bombeo. Depresión provocada en el nivel hidráulico del acuífero en explotación.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 34. Regulación del caudal de extracción y favorecimiento de la recarga		
Etapas de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Extensión y profundidad de los embudos de bombeo. Interferencia de pozos. Disminución del caudal de componentes asociados al componente en explotación. Variación en la relación agua superficial – agua subterránea. Modificación del comportamiento hidráulico del acuífero. Intrusión marina. Formación de conos salinos. Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras. Disminución de la porosidad y subsidencia. Sobreexplotación y agotamiento del recurso. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Evitador – Mitigador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> La regulación del caudal de extracción, de acuerdo a la recarga, descarga y reserva del sistema explotado y las variaciones que pueda experimentar, permite realizar un manejo sustentable del recurso, permitiendo su explotación durante períodos de tiempo muy largos. La determinación del caudal apropiado requiere de un conocimiento profundo del sistema en explotación, para lo cual son imprescindibles los estudios hidrogeológicos previos (Medida 22) y cuyas especificaciones están desarrollada en profundidad en el Capítulo correspondiente, y a las cuales esta medida del PM deberá adecuarse. Un favorecimiento de la recarga puede llegar a permitir incrementar el caudal de extracción. 	
Indicadores de éxito:	Estabilidad o aumento del nivel hidráulico del acuífero en explotación.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 35. Limitar el acceso del público en el área de captación de agua		
Etapas de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Riesgos de salud para el público. 	
Prioridad	Muy Alta	
Carácter	Preventivo-Evitador	
Efectividad esperada	Media – Muy Alta (según la(s) alternativa(s) a utilizar)	
Costo estimado	Bajo – Medio (según la(s) alternativa(s) a utilizar)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Se proponen las siguientes alternativas que pueden complementarse. <ul style="list-style-type: none"> a) Instalar carteles explicativos, preventivos y/o restrictivos sobre los riesgos asociados a transitar en el área de captación de agua, particularmente de utilizar el cuerpo de agua para actividades recreativas cerca de la toma. Estos carteles deben colocarse en los lugares más visibles y transitados por el público. b) Instalar barreras (vallas, cercos) en todo el perímetro del área de riesgo. Es importante fiscalizar el uso del suelo en el área de influencia de las obras de captación y en el área de recarga de la cuenca, especialmente el vertido de residuos (domiciliarios, hospitalarios, industriales). Para ello deben elaborarse de mapas de vulnerabilidad (Medida 25) que permiten identificar las áreas a proteger. 	
Indicadores de éxito:	Nº de carteles en buen estado. Nº de personas por unidad de tiempo que transitan el área de captación. Nº de accidentes registrados.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Bimestral

Medida 36. Limitar el acceso de ganado en el área de captación de agua		
Etapa de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del agua en la zona de captación.
Prioridad		Baja
Carácter		Preventivo-Evitador
Efectividad esperada		Alta
Costo estimado		De Bajo a Alta (depende de la alternativa)
Descripción:		<ul style="list-style-type: none"> Cuando corresponda, deben instalarse barreras en toda el área de influencia de las obras de captación de agua (por ejemplo, cercos a ambos lados de la fuente). En caso de cursos de agua (lineales) se debe coordinar con las autoridades de planeamiento rural, con las asociaciones agropecuarias y, especialmente, con los propietarios de los campos próximos, una política de manejo orientada a desestimular la actividad dentro de una región “buffer”, o de amortiguamiento, de no menos de 100 m de largo hacia ambos lados del curso.
Indicadores de éxito:		Nº de animales por unidad de tiempo presentes en zonas no habilitadas.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Semestral

Medida 37. Monitoreo de la calidad y caudal del agua captada		
Etapa de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir y/o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> Alteración de la calidad de las aguas utilizadas como fuente. Riesgos de salud para la población por deficiencias en el tratamiento. Sobreexplotación del recurso y sus consecuencias (contaminación salina, subsidencia, variaciones en la dinámica hídrica) Alteración en los cursos de agua y en el hábitat por roturas y/o desbordes en el sistema de conducción.
Prioridad		Máxima
Carácter		Preventivo – Minimizador
Efectividad esperada		Alta
Costo estimado		Medio
Descripción:		<ul style="list-style-type: none"> Se deberán hacer controles periódicos de parámetros clave de calidad del agua captada al menos en la frecuencia y número estipulados por la legislación vigente. Esto incluye parámetros físicos, químicos inorgánicos y orgánicos y bacteriológicos, inclusive los microorganismos involucrados en la corrosión y bioensuciamiento de las perforaciones y los sistemas de distribución (Gariboglio y Smith 1993). Es recomendable aumentar el número de muestras o la frecuencia para aquellos parámetros que hayan sido detectados como problemáticos o muy variables en el tiempo durante los estudios previos o que se descubran con esas características durante la operación del sistema. El lugar de muestreo podrá estar ubicado en el punto de captación, o a la entrada de la planta de tratamiento. Se recomienda medir los caudales en ambos sitios para poder detectar pérdidas en la conducción de agua hasta la misma. Además de cumplir con la legislación, se deberá llevar un registro estadístico de los resultados de las muestras con la finalidad de su comparación con los muestreos de calidad en otros puntos (Medida 31 y Medida 54) y su análisis a largo plazo (Medida 8). La medición del caudal del agua captada, con sus correspondientes registros, permite cuantificar el volumen extraído del sistema y así controlar el manejo adecuado y sustentable del recurso.
Indicadores de éxito:		Incidencia de enfermedades de origen hídrico en la población.
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Variable

Medida 38. Diseño adecuado de la batería de pozos		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – CONSTRUCCION - OPERACION	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Extensión y profundidad de los embudos de bombeo. • Interferencia de pozos. • Variación en la relación agua superficial - agua subterránea. • Modificación del comportamiento hidráulico del acuífero. • Intrusión marina. • Formación de conos salinos. • Salinización de acuíferos de médanos de llanura o de dunas costeras. • Disminución de la porosidad y subsidencia. • Sobreexplotación y agotamiento del recurso. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • El desarrollo de sistemas de abastecimiento de agua a escala importante a partir de acuíferos requiere de un campo de bombeo o batería de pozos. Por lo tanto el diseño de la batería de pozos es un factor muy importante en la explotación del agua subterránea. • Para poder realizar un diseño adecuado es esencial conocer en profundidad el sistema a explotar, para lo cual se debe contar con estudios hidrogeológicos previos (ver Medida 22 y Capítulo correspondiente a cuyas especificaciones deberá adecuarse esta medida del PMA). • Los elementos principales en el diseño de una batería de pozos son el volumen total de agua a ser extraído, el caudal de agua que puede ser bombeado de cada pozo (lo que determina el número de perforaciones necesarias) y la separación entre las perforaciones. • Un diseño inadecuado puede generar costos altos por interferencia de pozos y/o depresiones muy marcadas en los niveles hidráulicos. 	
Indicadores de éxito:	Extensión del área de influencia de bombeo. Depresión provocada en el nivel hidráulico del acuífero en explotación. Eficiencia de los pozos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	Anual	

Medida 39. Generación y preservación de archivos y registros de pozos		
Etapa de aplicación:	CONSTRUCCIÓN - OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Baja eficiencia del pozo debido a una mala ubicación de los filtros. Problemas de rendimiento del pozo de abastecimiento. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> La toma y preservación de registros de construcción, operación, mantenimiento y abandono de pozos de abastecimiento es una actividad esencial, que generalmente no se lleva a cabo. Esta responsabilidad recae en su mayor parte en el dueño u operador del pozo. La consecuencia de esta negligencia es que no se pueden identificar y corregir en forma económica problemas de disminución de rendimiento o deterioro de la calidad del agua, y el diseño de nuevos pozos no pueden incorporar la experiencia operativa pasada. Se debe establecer un archivo para cada pozo de abastecimiento en el momento en que se inician los planes para su construcción. Desde el momento de la planificación inicial hasta el abandono del pozo, se deben generar y conservar cuidadosamente en este archivo los siguientes registros: <ol style="list-style-type: none"> Diseño inicial: incluyendo planos, especificaciones escritas sobre diámetro, profundidad total propuesta, ubicación de los filtros o secciones sin entubar, método de construcción, y materiales de construcción. Registro de construcción: incluyendo el método de construcción, el perfil del perforista y el perfil geofísico de los materiales atravesados durante la construcción, el diámetro del entubamiento y filtros, el tamaño de ranura y composición metálica de los filtros, la profundidad total del pozo, y el peso del entubamiento. También se deben conservar los registros y perfiles de todos los pozos de exploración, incluyendo aquellos que no fueron exitosos debido a bajos rendimientos. Ensayos de bombeo: incluyendo una copia de las mediciones del nivel de agua realizadas antes, durante y después del ensayo de bombeo, un registro del régimen de bombeo, copias de cualquier gráfico de los datos, y una copia del informe del hidrólogo con la interpretación de los resultados de los ensayos. Datos de la bomba y su instalación: incluyendo el tipo de bomba, la potencia del motor, la profundidad de la toma de agua, una copia del manual de la bomba con los datos de eficiencia y rendimiento, y una descripción de las facilidades disponibles para realizar mediciones del nivel de agua, incluyendo una descripción del punto de referencia para la medición. Registro de operación: incluyendo datos sobre el tipo de medidor utilizado para medir el caudal de extracción, lecturas semanales del medidor, mediciones semanales del nivel estático y dinámico (o de bombeo) del agua, y análisis periódicos de la calidad del agua. Registro de mantenimiento del pozo: incluyendo los días y las actividades realizadas para incrementar el rendimiento del pozo o para mejorar la calidad del agua y los resultados obtenidos, apropiadamente documentados. Registro de abandono de pozo: incluyendo la fecha en que se dejó de utilizar el pozo y una descripción de los métodos y materiales que se utilizaron para sellar o tapar el pozo. Estos registros contribuyen a mejorar el conocimiento del sistema explotado, lo que eventualmente permite el desarrollo de modelos (Medida 24). 	
Indicadores de éxito:	Porcentaje de pozos con registros.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 40. Control de la sedimentación en la zona de captación		
Etapa de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir y/o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> • Perturbación de la flora y fauna acuáticas. • Alteración de los canales o cursos de agua.
Prioridad		Media
Carácter		Preventivo-Minimizador
Efectividad esperada		Media
Costo estimado		Medio
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Medición periódica en lugares predeterminados de las cotas de fondo del cuerpo de agua (en caso de arroyo o río) y control de la sección hidráulica del mismo. • Establecimiento de pautas y medidas correctoras como dragados periódicos y restablecimiento de taludes. 	
Indicadores de éxito:	Sección hidráulica de diseño. Disminución de los procesos de sedimentación.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Trimestral

Medida 41. Monitoreo de la subsidencia		
Etapa de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> • Subsidencia del terreno debido al bombeo.
Prioridad		Media (depende de la geología de la zona)
Carácter		Preventivo – Minimizador
Efectividad esperada		Media
Costo estimado		Medio
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • El monitoreo de la subsidencia del terreno se aplica generalmente en zonas que, debido a sus características geológicas (presencia de importantes capas de arcillas), son proclives a generar esta situación. Sin embargo, existen medidas, como los monitoreos de niveles freáticos (Medida 28), que permiten detectar problemas de sobreexplotación (generalmente la causante de la subsidencia) antes de llegar a esta instancia. Generalmente el monitoreo de la subsidencia se realiza en zonas que ya presentan el problema, con el fin de controlar su evolución. 	
Indicadores de éxito:	Estabilidad en el nivel del terreno.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 42. Control de la erosión en la zona de captación.		
Etapa de aplicación:		OPERACIÓN
Efecto(s) a corregir y/o prevenir		<ul style="list-style-type: none"> • Perturbación de la flora y fauna acuáticas. • Alteración de los canales o cursos de agua. • Aumento de procesos erosivos por eliminación de la cubierta vegetal, y apertura de caminos.
Prioridad		Media
Carácter		Preventivo-Minimizador
Efectividad esperada		Baja
Costo estimado		Bajo
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • Cuantificación de los procesos erosivos laterales y de fondo en los cursos de agua (en caso de arroyos o ríos) mediante relevamientos y evaluaciones periódicas, con descripción del proceso, mediciones y establecimiento de pautas y medidas correctoras (por ejemplo, engavionados). • Para evitar la erosión debida a la eliminación de la vegetación deben aplicarse medidas tendientes a restaurar la cobertura vegetal (Medida 15). Una vez avanzados los procesos erosivos (formación de cárcavas) deben aplicarse métodos para tratar de distribuir el flujo de agua y evitar el encauzamiento, o disminuir la velocidad de circulación. Estos métodos, sin embargo, sólo detienen parcialmente el fenómeno. 	
Indicadores de éxito:	Sección hidráulica de diseño. Disminución de los procesos erosivos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Mensual

Medida 43. Limpieza de rejas y disposición de sólidos en el predio de disposición final de residuos sólidos urbanos		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto (s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Deterioro en la calidad de agua de la fuente por acumulación de sólidos. Molestias a la población. 	
Prioridad	Baja	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Muy Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Implementar un programa de manejo y disposición final de los sólidos retenidos en las rejas de las obras de captación, que contemple su disposición en una planta de tratamiento o de disposición final de residuos sólidos urbanos (siempre y cuando la composición de éstos sea compatible con el tratamiento previsto o no altere significativamente la composición físico-química y biológica de los residuos dispuestos en tales lugares). La frecuencia de remoción de sólidos deberá estar de acuerdo a la cantidad de los mismos que sea de gran tamaño en el curso utilizado como fuente, y el transporte deberá hacerse luego de un cierto tiempo durante el cual drenen los excesos de líquidos. Será conveniente realizar análisis periódicos con la finalidad de determinar y evaluar la composición esperada de los sólidos retenidos de forma que sean compatibles con las exigencias del sistema de disposición. En especial deberá ser controlado el tenor máximo de humedad. Deberán especificarse los protocolos de análisis y determinaciones de laboratorio, así como los estándares de comparación y la bibliografía técnico-científica de referencia. De ser necesario el análisis in-situ deberá detallarse los equipos con que deberá contar el laboratorio. 	
Indicadores de éxito:		
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

5.4.4. Medidas Relacionadas con el Tratamiento del Agua

Medida 44. Realizar cursos de capacitación ambiental antes y durante la operación de la planta de tratamiento		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – CONSTRUCCIÓN - OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Impactos múltiples por desperfectos o contingencias. Riesgos de salud de los operarios y de la población. Riesgos por deficiencias en el tratamiento de los lodos. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo-Evitador	
Efectividad esperada	Muy alta	
Costo estimado	Muy bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Se deberán implementar cursos de capacitación a todas las personas que participan, directa o indirectamente, de las tareas de operación y/o inspección de la planta de tratamiento, y otras tareas relacionadas con las obras de captación. Estos cursos deberán realizarse antes del inicio de la operación, y ser repetidos por lo menos anualmente para actualizar conceptos y tecnologías. Los cursos para el personal de la estación de tratamiento deberán incluir obligatoriamente las siguientes temáticas: higiene y seguridad en el trabajo, seguridad industrial, riesgos sanitarios por dosificación incorrecta de productos químicos y/o potabilización deficiente, evaluación de impactos ambientales en el abastecimiento de agua, técnicas de protección y manejo ambiental, planificación de contingencias, y reglamentación legal vigente. En cualquier tipo de curso o grado de conocimiento adquirido deberá ser evaluado mediante un examen. 	
Indicadores de éxito:	Horas de capacitación en relación a horas trabajadas.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Cuatrimestral

Medida 45. Impedir el acceso de personas no autorizadas al predio de la planta de tratamiento		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Riesgos de salud de los operarios y de la población. 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Preventivo – Evitador	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Medio	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Las instalaciones de la planta de tratamiento deberán estar cercadas y poseer carteles que indiquen la prohibición de acceso, así como los peligros asociados (Medida 47). Deberá haber al menos un guardia en forma permanente controlando el acceso y el perímetro de las instalaciones. Se pueden implementar otros sistemas de seguridad (como perros o alarmas) para desanimar el ingreso. 	
Indicadores de éxito:	Nº de personas no autorizadas halladas en el área restringida.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Anual

Medida 46. Controlar el mantenimiento operativo de la planta		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Riesgos por deficiencias de mantenimiento, incluido el cese del funcionamiento (contingencias operativas). 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Muy alta	
Costo estimado	Muy bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> El operador de la planta deberá contar con un Manual de Operación de la misma, donde se describan las tareas, frecuencias de aplicación y asignación de responsabilidades relacionadas con el mantenimiento operativo y preventivo de la planta. Esto incluye, por ejemplo, el manejo a efectuar de los lodos de tratamiento y sólidos de rejillas, su disposición final en sitios o zonas ambientalmente aptas (emergentes de un estudio técnico específico), el control de los componentes electromecánicos y la verificación del funcionamiento del tratamiento propiamente dicho (limpieza de estructuras; control de los componentes químicos). Dicho Manual deberá tener planillas de registro diario de las actividades de control e incidentes operativos. Durante los primeros tres años de funcionamiento de la planta, incluyendo el período de ajuste y calibración, será obligatorio realizar Auditorías periódicas, al menos trimestralmente, para verificar el grado de cumplimiento de las pautas del Manual. Si no se verifican deficiencias operativas, las Auditorías podrán ser anuales para los años siguientes 	
Indicadores de éxito:	Nº incidentes operativos/ año.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		≥ Trimestral

Medida 47. Señalización del lugar durante la operación de la planta de tratamiento		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Riesgos para la salud de los operarios y la población. 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Muy alta	
Costo estimado	Muy bajo (por unidad)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Deberán instalarse carteles explicativos, preventivos y/o restrictivos que: (1) informen sobre los riesgos sanitarios y epidemiológicos asociados al manejo erróneo y las prácticas inadecuadas durante las tareas de operación de la planta, y (2) individualicen los lugares que impliquen amenazas o riesgos para la salud del personal. Dichos carteles deberán ser colocados en sitios visibles, y en aquellos con mayor probabilidad de tránsito potencial por el público. El estado de los carteles deberá controlarse mensualmente. 	
Indicadores de éxito:	Nº de personas que transitan por el área señalizada.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Trimestral

Medida 48. Tratamiento, control de calidad y disposición final de lodos removidos		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del suelo, cursos de agua o acuíferos con sustancias tóxicas. Riesgo de salud para la población. 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Preventivo-Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Los lodos producidos por el tratamiento del agua tienen un volumen muy diferente dependiendo del tipo de fuente seleccionada. Esos lodos pueden disponerse o utilizarse de varias maneras, dependiendo de su cantidad, del tipo de tratamiento adoptado y de las necesidades de la región. En todos los casos se deben tener en cuenta los mapas de vulnerabilidad y protección elaborados (Medida 25). Algunas alternativas que deberán justificarse son: volcarlos en el cuerpo de agua que actúa como fuente aguas debajo de la toma, disponerlos en un cuerpo receptor (junto con los líquidos cloacales), disponerlos en un relleno sanitario (áreas deprimidas), o utilizarlos como materia prima, por ejemplo, en la fabricación de ladrillos. Es necesario controlar periódicamente su calidad, ya que los distintos tipos de uso exigen un tratamiento diferente de los lodos y una cantidad y calidad determinadas, tanto en su características físico-químicas como biológicas. El manejo, tratamiento y disposición de barros y otros subproductos deberá ser realizado de conformidad a la norma CFR 40- Parte 503 de la EPA, o legislación local equivalente. Dicha norma establece los requerimientos para los barros según su destino final: aplicados a la tierra para acondicionar suelos o fertilizar cultivos, dispuestos en un sitio apto para su disposición final, o incinerados en un incinerador para biosólidos. Para el caso particular de uso agrícola u hortícola de lodos tratados, deberá asegurarse que el contenido residual de bacterias y metales pesados no supere las concentraciones recomendadas internacionalmente (OPS, OMS, EPA). Éstas deberán estar especificadas en el PMA. 	
Indicadores de éxito:	Proporción de muestras dentro de los límites de calidad establecidos.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Variable

Medida 49. Limitar el acceso de fauna oportunista a la planta de tratamiento		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de las condiciones de habitabilidad de la fauna y/o flora terrestres por la instalación de la planta de tratamiento. 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Mitigador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Bajo – Alto (depende de los sistemas de ahuyentamiento)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> En caso de proliferación de aves (por ejemplo gaviotas) en la zona de los tanques, se recomienda implementar algún método de ahuyentamiento o protección, como redes que cubran la superficie, o “espanta-pájaros”. Estos últimos consisten en una serie de alambres sobre los tanques, a distintas alturas, que sirven de soporte a latas perforadas que producen brillo y zumbido, o telas brillantes y/o de colores. En caso de verificarse proliferación de mamíferos perjudiciales (roedores), puede recurrirse a trampas o tóxicos. La aplicación de estos últimos debe hacerse sólo si puede garantizarse su total aislamiento de los sitios de tratamiento del agua. 	
Indicadores de éxito:	Nº de individuos observados o capturados por unidad de tiempo.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Semestral

Medida 50. Indemnización de la población a ser reasentada		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – CONSTRUCCIÓN – OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de las condiciones de vida de los residentes. Descontento con el sistema de abastecimiento de agua potable. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Compensatoria	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Muy Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Se recomienda efectuar un análisis de las características socio-económicas y culturales de la población a ser reasentada con la finalidad de garantizar la recomposición de dichas características en el nuevo lugar de residencia. Deberán considerarse las recomendaciones de las Directrices Operativas (OD 4.00, 4.20, 4.30) y de la Políticas Operativas (OP 4.01, 4.04, 4.37) del Banco Mundial y las correspondientes del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), específicas para estos casos. 	
Indicadores de éxito:	Opinión de la población afectada a través de entrevistas.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Semestral

Medida 51. Indemnización a los propietarios cuyos terrenos serán expropiados		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – CONSTRUCCIÓN - OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Alteración de las condiciones de vida de los residentes. Descontento con el sistema de abastecimiento de agua potable. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Compensatoria	
Efectividad esperada	Muy Alta	
Costo estimado	Bajo - Muy Alto (depende del tipo de obra y/o medida)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Si bien en muchos casos no se menciona, la indemnización a los propietarios cuyos terrenos serán expropiados es una suposición básica para este tipo de proyectos. De todas formas, se recomienda anticipar cualquier posible conflicto informando a los propietarios con suficiente antelación. 	
Indicadores de éxito:	Opinión de los afectados a través de entrevistas.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Solamente una vez

5.4.5. Medidas Relacionadas con el Sistema de Distribución de Agua

Medida 52. Fomentar una amplia conexión a la red de agua potable		
Etapa de aplicación:	PLANIFICACIÓN – CONSTRUCCIÓN - OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Riesgos de salud para la población por consumo de agua contaminada. Impactos evaluados en base a la contabilización del agua extraída (contaminación salina, subsidencia, variaciones en la dinámica hídrica). 	
Prioridad	Alta	
Carácter	Preventivo – Minimizador; Mitigador (a corto plazo) - Restaurador (a largo plazo)	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Muy Bajo	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Estimular a todos los propietarios que posean pozos de explotación de agua freática a conectarse a la red de agua potable en el menor tiempo posible, mediante campañas de divulgación pública (Medida 13) incluyendo la distribución de folletos explicativos en la factura del servicio. Prohibir la perforación de nuevos pozos en el área servida. En el caso de existir pozos de riego, se deben colocar medidores en los mismos y ser registrados periódicamente con el fin de contabilizar el agua extraída, por este medio, del acuífero explotado. Este volumen de agua, junto con el captado por la planta de abastecimiento (correspondiente al proyecto y/o preexistentes), conforma el volumen total extraído artificialmente, componente de gran importancia en la realización de los balances hídricos (Medida 23). Verificar la no conexión de éstos al tanque de agua. 	
Indicadores de éxito:	Porcentaje de potenciales usuarios conectados al sistema.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Trimestral

Medida 53. Mantenimiento preventivo y monitoreo del estado de la red		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir y/o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación del agua subterránea por infiltraciones desde la red. Impactos múltiples por desperfectos o contingencias. Riesgos sanitarios y molestias a la población por roturas y desbordes de la red. Riesgos para los operarios y la población. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Alto	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Es muy conveniente efectuar un monitoreo y mantenimiento preventivo de la red a fin de pronosticar fallas, reemplazar elementos defectuosos, detectar los posibles sitios de pérdidas y/o contaminación y prevenir potenciales impactos por mal funcionamiento del sistema. Si bien normalmente se realiza un registro de los bienes del sistema de abastecimiento de agua potable, no suele evaluarse la condición ni el rendimiento de los mismos. Por lo tanto, resulta necesario estimar indicadores tales como caudal efectivo y ubicación de infiltraciones, pérdidas, desbordes, incrustaciones, raíces de árboles, bajas presiones, conexiones ilegales, y sitios de contaminación. La integración de la información relevada permite identificar áreas de distinta vulnerabilidad a emergencias según las categorías/condiciones de la red, elaborar planes de áreas de evacuación (Medida 9), y pronosticar fallas, previniendo impactos por deterioro o mal funcionamiento del sistema. Además del control de calidad del agua y la micromedición del consumo (Medida 54), se debe llevar un registro de las presiones existentes en distintos puntos de la red con un diseño estadístico similar, considerando las variaciones estacionales y diarias. Incluso para detectar fallas se pueden aislar pequeñas zonas de la red e instalar medidores de caudal para medir caudales nocturnos. Se debe implementar un conjunto de técnicas de restauración y desinfección de cañerías que tiendan a evitar efectos negativos no deseados como por ejemplo los efectos de las lechadas químicas a inyectar en juntas defectuosas. En este caso se deben realizar ensayos de factibilidad ambiental para verificar la viabilidad de estos productos, es decir, que no sean tóxicos una vez curados. Lo mismo se aplica a los casos de desinfección de cañerías. Bajar concentración de cloro antes de volcar al curso receptor a fin de preservar la vida ictícola. Las técnicas de excavaciones manuales (método tradicional para realizar reparaciones) deben ser minimizadas dado que generan mayor impacto (temporario) a la calidad de vida de los pobladores. En cambio, se deberán priorizar las técnicas de sellado de juntas, reparaciones de fisuras, redondeo localizado, o revestimiento mediante inserción localizada. Para evitar que las raíces de árboles, atraídas por la humedad, ingresen en las tuberías y generen obstrucciones, se deberán emplear inhibidores químicos, con los cuidados correspondientes, en lugar del corte de las raíces, dado que esta técnica vigoriza el crecimiento de las raíces. 	
Indicadores de éxito:	N° de intervenciones de mantenimiento, grado de deterioro de la red. Frecuencia de incidentes, anegamientos, roturas y obstrucciones.	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:	Semanal	

Medida 54. Monitoreo de la calidad y caudal del agua distribuida		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto (s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> Riesgos de salud para la población por deficiencias en el tratamiento. Descontento de los usuarios por falta de presión en la red. Contaminación del agua por mal estado de las cañerías. 	
Prioridad	Máxima	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Medio	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> Se deberán hacer controles periódicos de parámetros clave de calidad del agua distribuida al menos en la frecuencia y número estipulados por la legislación vigente, que depende del tamaño de la red de agua. Esto incluye parámetros físicos, químicos inorgánicos y orgánicos y bacteriológicos, inclusive los microorganismos involucrados en la corrosión y bioensuciamiento de las perforaciones y los sistemas de distribución (Gariboglio y Smith 1993). Es recomendable aumentar el número de muestras o la frecuencia para aquellos parámetros que hayan sido detectados como problemáticos o muy variables en el tiempo durante los estudios previos o que se descubran con esas características durante la operación del sistema. Los puntos de muestreo deberán incluir la salida de la planta de tratamiento, los reservorios y distintos puntos de muestreo fijos y variables a lo largo de toda la red. También deberán hacerse muestreos aleatorios de salida luego de las conexiones domiciliarias. Además del sistema de micromedición domiciliario, se recomienda medir los caudales de los usos públicos (limpieza y riego de parques y calles, incendios, surtidores públicos) así como llevar los registros de los caudales a la salida de la planta de tratamiento y en otros puntos importantes de la red como tanques y estaciones elevatorias (Medida 55). Además de cumplir con la legislación, se deberá llevar un registro estadístico de los resultados de las muestras con la finalidad de su comparación con los muestreos de calidad en otros puntos (Medida 31 y Medida 37) y su análisis a largo plazo (Medida 8). 	
Indicadores de éxito:	<p>Nº de análisis que cumplen con los valores límites estipulados para agua de consumo humano.</p> <p>Nº de análisis por día por parámetro.</p> <p>Porcentaje de usuarios disconformes con el servicio.</p>	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Variable

Medida 55. Asegurar una correcta medición del consumo asociada a una estructura tarifaria que penalice el derroche		
Etapa de aplicación:	OPERACIÓN	
Efecto(s) a corregir o prevenir	<ul style="list-style-type: none"> • Derroche del recurso hídrico • Impactos múltiples por pérdida de agua en el sistema 	
Prioridad	Muy Alta	
Carácter	Preventivo – Minimizador	
Efectividad esperada	Alta	
Costo estimado	Bajo a Alto (dependiendo del procedimiento utilizado)	
Descripción:	<ul style="list-style-type: none"> • La ausencia de medición induce el derroche del agua potable, por lo que debe fomentarse la micromedición y asegurar el registro correcto del consumo. • Los medidores pueden fallar, romperse o ser deliberadamente alterados para registrar menos consumo. Las presiones excesivas pueden dañar los medidores, y las presiones bajas pueden hacer que el consumo sea subregistrado. • Otra causa de la subestimación del consumo puede ser el entrenamiento inadecuado o la incompetencia del personal encargado de leer los medidores (OED 1994). • Algunas formas de solucionar esto son: <ol style="list-style-type: none"> 1. Entrenamiento adecuado. 2. Verificación por parte de supervisores. 3. Rotación de las áreas destinadas a los distintos individuos. 4. Medición por servicios externos. 5. Medición remota o por medio de computadoras portátiles manuales. • A falta de una legislación reguladora, la frecuencia de medición suele depender de las posibilidades financieras de la empresa. La frecuencia mensual o bimestral de medición es bastante común. 	
Indicadores de éxito:	Incremento del consumo medido respecto al volumen distribuido	
Periodicidad de fiscalización del grado de cumplimiento y efectividad de la medida:		Semestral

6. PLAN DE CONTINGENCIAS AMBIENTALES

6.1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y ALCANCES

El manejo y gestión de los sistemas de abastecimiento de agua potable comprende una compleja variedad de actividades operativas que tienen por objeto proveer dicho servicio, esencial para la vida de la población. El hecho de que el abastecimiento se efectúe en condiciones óptimas de calidad, cantidad, y continuidad depende, en parte, de la existencia de un Plan de Contingencias que típicamente posee los siguientes objetivos:

- Minimizar y controlar las eventuales emergencias en el área de operaciones del servicio.
- Resumir la información básica para dar respuesta a incidentes tipo en la actividad sanitaria.
- Proveer de una herramienta de aplicación inmediata cada vez que un incidente o siniestro pudiera amenazar o vulnerar seriamente el ambiente, la salud humana, y/o los bienes de la comunidad, así como impedir la provisión del servicio sanitario.

El servicio de abastecimiento de agua potable, dado su carácter imprescindible, cumple una función decisiva cuando las poblaciones humanas y sus instituciones se ven afectadas por emergencias o desastres (contingencias inusuales de gran magnitud). Los fenómenos naturales son eventos que al intervenir sobre las poblaciones humanas y sus bienes materiales, pueden convertirse en amenazas y ocasionar daños que, cuando tienen lugar a gran escala, se denominan desastres naturales.

En Argentina existen vastas áreas que se hallan expuestas a fenómenos naturales con distinta frecuencia. Ejemplos de ello son los terremotos en las provincias de Cuyo (Acquaviva 1991), las inundaciones en el Litoral, los deslizamientos y procesos aluvionales en las zonas montañosas del Noroeste, y las erupciones volcánicas en algunas regiones patagónicas sobre la cordillera de Los Andes (Di Pace *et al.* 1991).

La infraestructura de los sistemas de abastecimiento de agua potable puede deteriorarse como consecuencia de la acción de estos fenómenos naturales, afectando así su funcionamiento. En particular, los terremotos causan daños en las tuberías y estructuras. Por otro lado, las fuentes de agua se tornan escasas durante las sequías, se pueden contaminar debido a erupciones volcánicas, o incrementarse el riesgo de transmisión de enfermedades hídricas en el caso de las inundaciones.

Las situaciones derivadas de los desastres pueden organizarse en tres etapas: (1) la anterior al impacto, (2) la de respuesta al mismo (durante el desastre), y (3) la posterior. Esta última se caracteriza por las acciones de reconstrucción y/o rehabilitación de los servicios. Según la OPS (1993), la experiencia internacional indica que la prevención y la planificación son las mejores medidas de mitigación ambiental para reducir o evitar daños y pérdidas humanas y/o materiales. Los esfuerzos deben concentrarse, por lo tanto, durante el período anterior al desastre (etapa 1) para evitar que éste ocurra o, al menos, atenuar sus efectos.

El manejo de amenazas, a diferencia del manejo de desastres (que comprende acciones de alerta, socorro, auxilio y rehabilitación), consiste en conocer y evaluar el potencial de que los fenómenos naturales concluyan (o no) en desastres para las poblaciones humanas y los ambientes o recursos de los cuales dependen. Tal manejo se concentra en cuatro tareas: (a) conocimiento y análisis de las amenazas y de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, (b) evaluación del riesgo que representa esta interacción, (c) acciones de prevención y mitigación que eliminen o reduzcan el impacto de las amenazas, y (d) preparación adecuada para atender toda situación de emergencia. Estas tareas son fundamentales para la operación preventiva de sistemas de abastecimiento de agua potable.

La Organización Panamericana de la Salud (OPS 1993) recomienda para la elaboración de Planes de Contingencias una metodología que incluye cuatro etapas que se describen en las siguientes secciones:

6.2 Clasificación de Amenazas;

6.3 Creación del Comité de Emergencia;

6.4 Análisis de Vulnerabilidad;

6.5 Elaboración de Planes Operativos de Emergencia.

6.2. CLASIFICACIÓN DE AMENAZAS

Los distintos tipos de amenazas se definen en función de su origen y de su afinidad funcional. Las amenazas naturales son fenómenos (eventos físicos de origen natural) que tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, sus instituciones, infraestructura y/o actividades. Si una amenaza ocasiona realmente daños o pérdidas, entonces se convierte en un desastre natural. Según esta definición, en zonas sin población o bienes de interés humanos los fenómenos naturales no constituyen una amenaza y por lo tanto no pueden llegar a ser desastres. Las amenazas antrópicas son aquellas generadas por acción humana que, análogamente a las amenazas naturales, pueden culminar o no en desastres. En la **Figura 19** se detallan los 31 tipos de amenazas existentes según su origen.

El manejo de las amenazas consiste en conocer y evaluar la probabilidad de que las mismas terminen o no en desastres. Esto se basa fundamentalmente en el conocimiento y análisis de las amenazas y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en la evaluación del riesgo que presenta esa interacción, en las acciones de prevención y mitigación del impacto de las amenazas, y en una preparación adecuada para atender toda situación de emergencia.

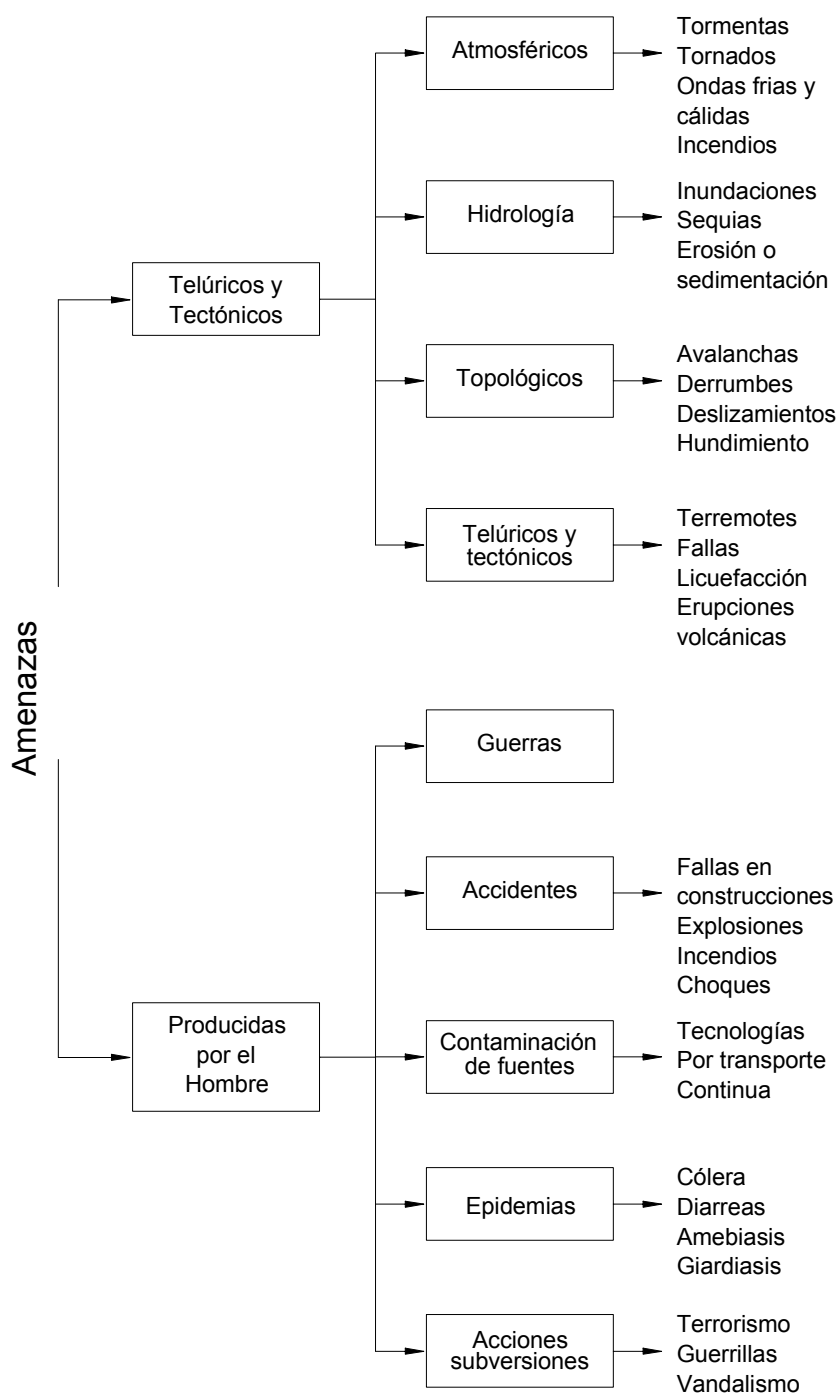


Figura 19. Clasificación de amenazas en función de su origen y afinidad funcional (Fuente: OPS 1993)

6.3. CREACIÓN DEL COMITÉ DE EMERGENCIA

6.3.1. Objetivos

El Comité de Emergencias es el órgano responsable de la operación y mantenimiento de los sistemas en los procesos de mitigación, preparación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción ante situaciones de emergencia y desastres. De esta manera, constituye el elemento central de la administración en caso de que ocurran emergencias, y se encarga principalmente del manejo de las amenazas naturales. Tiene la responsabilidad de planificar, organizar y dirigir los recursos humanos, materiales y económicos, al igual que las actividades de operación y mantenimiento de los sistemas en la mitigación, preparación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción ante situaciones de emergencia y desastre que puedan afectar a los servicios de abastecimiento de agua potable.

Dicho comité conforma el nexo entre las labores administrativas y operativas con la dirección de la empresa y, a su vez, con las otras organizaciones que tienen participación en el manejo de emergencias a nivel local (autoridades de empresas de servicio, municipio, policía, bomberos, defensa civil).

El Comité está integrado por las principales autoridades de la empresa: director o gerente general (que lo preside), jefes de áreas productivas, operativas, de mantenimiento, suministro, desarrollo, planificación, y relaciones públicas. Tiene un carácter permanente, con una frecuencia de reuniones sujeta a la situación existente.

Para que la puesta en marcha de los planes operativos de emergencia sea rápida y eficaz es posible que en una misma empresa sea necesario contar con más de un comité, dependiendo de las características y magnitud de la misma. En este caso, habrá un Comité Central con las características mencionadas, y otros Comités Operativos de Emergencia que asumirán las responsabilidades de la operación y mantenimiento de las áreas de producción, distribución primaria, recolección y sistemas descentralizados. Su presidente será miembro del Comité Central y estarán integrados por los principales funcionarios de cada unidad.

Debido a que el Plan de Emergencias es dinámico y debe mantenerse actualizado, es importante designar una Comisión de formulación, evaluación y control del plan, de carácter permanente, formada por profesionales de las áreas de operación, mantenimiento y planificación, además de un comité técnico. Además, dicha comisión podrá efectuar el análisis de vulnerabilidad de los componentes de los sistemas, la supervisión y evaluación de la documentación sobre emergencias realizada por cada unidad, la aplicación del plan y medidas preventivas, y la formulación de planes operativos y anexos al plan de emergencia, así como su control y actualización.

Un aspecto importante de la atención de emergencias es la elección y puesta en funcionamiento de un centro de operaciones adecuado, en una ubicación estratégica en cuanto a facilidades de acceso y comunicación, con una probabilidad de riesgos mínima, en donde pueda reunirse el Comité de Emergencia y el personal clave del plan, y dirigir la acción para hacer frente a una emergencia.

Mediante la activación del Plan de Emergencias, la declaración de situaciones de alerta permite que se tomen las medidas necesarias para mitigar los efectos del fenómeno natural en cuestión que, a su vez, presenta características de situaciones de alerta y emergencias propias. De esta manera, la declaratoria de emergencia posibilita que se lleven a cabo acciones de tipo legal, administrativo, logístico y operativo prescritos en el Plan de Emergencia.

6.3.2. Funciones y Responsabilidades

Del directorio:

- Dictar la política general de la empresa para afrontar situaciones de emergencia.
- Nombrar el comité central de emergencia, los comités operativos y la comisión de formulación, evaluación y control del plan de emergencia.
- Aprobar el plan de emergencia.
- Solicitar a las autoridades gubernamentales la declaración de emergencia del servicio cuando la situación lo amerite.
- Aprobar y apoyar las acciones antes, durante y después de la emergencia.

Del comité central de emergencia:

- Declarar la situación de alerta o emergencia interna de la empresa.
- Dirigir el proceso de formulación, preparación y aplicación del plan de emergencia.
- Integrar la comisión de formulación, evaluación y control del plan de emergencia.
- Facilitar a la comisión la realización de sus actividades.
- Disponer y supervisar el adiestramiento permanente del personal en los procedimientos de emergencia tanto teóricos como prácticos.
- Dar prioridad, coordinar y disponer las actividades y el uso adecuado de los recursos durante la emergencia.
- Establecer y mantener lazos de comunicación y coordinación con las entidades públicas de importancia que tengan la responsabilidad de tomar medidas de emergencia a nivel local o nacional.
- Mantener contacto con las organizaciones privadas, tales como proveedores de equipos, productos químicos y tuberías, asociaciones profesionales y contratistas.
- Disponer la revisión y actualización periódica del plan de emergencia.
- Disponer y hacer cumplir las acciones para contar con información sobre personal, logística, planos, diagramas, descripción de los sistemas, que es necesaria para el análisis de vulnerabilidad y la formulación del plan de emergencia.

De los comités operativos de emergencia:

- Participar en la conformación de la comisión de formulación, evaluación y control del plan de emergencia, a fin de desarrollar y mantener actualizados los planes operativos de emergencia.
- Coordinar y dirigir la preparación, respuesta y rehabilitación ante situaciones de emergencia en sus respectivos campos de acción así como otras funciones designadas por el comité central de emergencia.

6.4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

6.4.1. Objetivos y Niveles de Análisis

Esta tarea implica la identificación de los componentes críticos del sistema, la determinación de los parámetros y evaluación de las amenazas, y la estimación de la vulnerabilidad.

El análisis de vulnerabilidad es uno de los componentes más relevantes del manejo de amenazas, pues permite determinar (o estimar) el grado de afectación al que está expuesto el sistema de abastecimiento de agua potable, formular un plan de emergencias, y ejecutar las medidas preventivas pertinentes. Este análisis puede realizarse en tres niveles:

- Formulación del Plan: permite identificar los componentes más vulnerables y críticos del sistema (al mismo se le deben incorporar las medidas de prevención y mitigación).
- Análisis de Especialistas: si del análisis preliminar resulta un nivel de riesgo muy alto, debe realizarse un estudio con mayor profundidad a cargo de especialistas.
- Re-evaluación Post-desastre: este análisis permite evaluar la eficiencia del plan de emergencia y de las medidas preventivas adoptadas, así como facilitar su actualización.

Para cualquiera de las etapas es necesario identificar y describir las zonas prioritarias para el abastecimiento, como los componentes y servicios de cada subsistema (Captación, Tratamiento y Distribución). Un sistema de abastecimiento de agua potable está integrado por los siguientes componentes:

- Captación.
- Aducción.
- Planta de tratamiento.
- Estaciones de bombeo.
- Tanques de almacenamiento.
- Red de distribución.

Los desastres se producen por la intervención de dos factores: la amenaza y la vulnerabilidad. La amenaza es un factor de riesgo externo representado por el peligro de que un fenómeno físico de origen natural u antrópico se manifieste produciendo efectos adversos sobre el ambiente, la población, o sus bienes. La vulnerabilidad, en cambio, es un factor de riesgo interno que tiene una población, infraestructura o sistema que está expuesto a una amenaza, y representa su disposición intrínseca o susceptibilidad de ser afectado. La vulnerabilidad de un componente frente a una amenaza dada depende de factores internos (elementos críticos, que cumplen una función determinada dentro del sistema), cuya susceptibilidad a sufrir daños varía según la amenaza.

El riesgo de que ocurra un desastre se determina mediante la conjunción de ambos factores. De esta manera, la probabilidad de que se produzcan daños sobre un sistema por la acción de un fenómeno dependerá de su intensidad y la vulnerabilidad de dicho sistema. Una forma de lograr que el riesgo sea menor es disminuyendo la vulnerabilidad, para lo cual es necesario su análisis.

En la **Figura 20** se ilustran los pasos e interacciones del proceso de análisis de vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua potable. Primero se lleva a cabo la fase A para cada tipo de amenaza. La fase B implica necesariamente haber identificado las amenazas más peligrosas a fin de realizar la comparación entre ellas, lo cual facilita la toma de decisiones durante la planificación.

Un requerimiento crítico para el éxito del análisis de vulnerabilidad es el manejo de datos e información actualizada y confiable. Los mapas de amenazas permiten una mayor comprensión de las mismas mediante la identificación de las zonas de amenaza constante y de aquellas que presentan una probabilidad mayor de ocurrencia de impactos. A partir de la superposición de mapas de amenaza y vulnerabilidad (que se obtienen a partir de su análisis), se obtienen los mapas de riesgos del sistema para las diferentes amenazas. Estos últimos permiten definir medidas preventivas de tipo estructural, planes operativos de emergencias, y programas de evaluación de daños.

6.4.2. Evaluación de las Amenazas y Estimación de la Vulnerabilidad

Las amenazas, en forma individual, se evalúan en base a los siguientes elementos:

- Prioridad (en función del impacto causado).
- Área del impacto (cantidad de componentes afectados).
- Características de la amenaza (velocidad de gestación, grado de control, frecuencia y severidad, probabilidad de ocurrencia de los eventos).
- Características del impacto.
- Impacto en el servicio.
- Elementos expuestos al impacto.

La vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua potable puede ser física, operativa u organizativa, y depende de sus características estructurales, recursos con los que se cuenta para el manejo de los sistemas, capacitación del personal, métodos operativos, y la propia organización de la empresa.

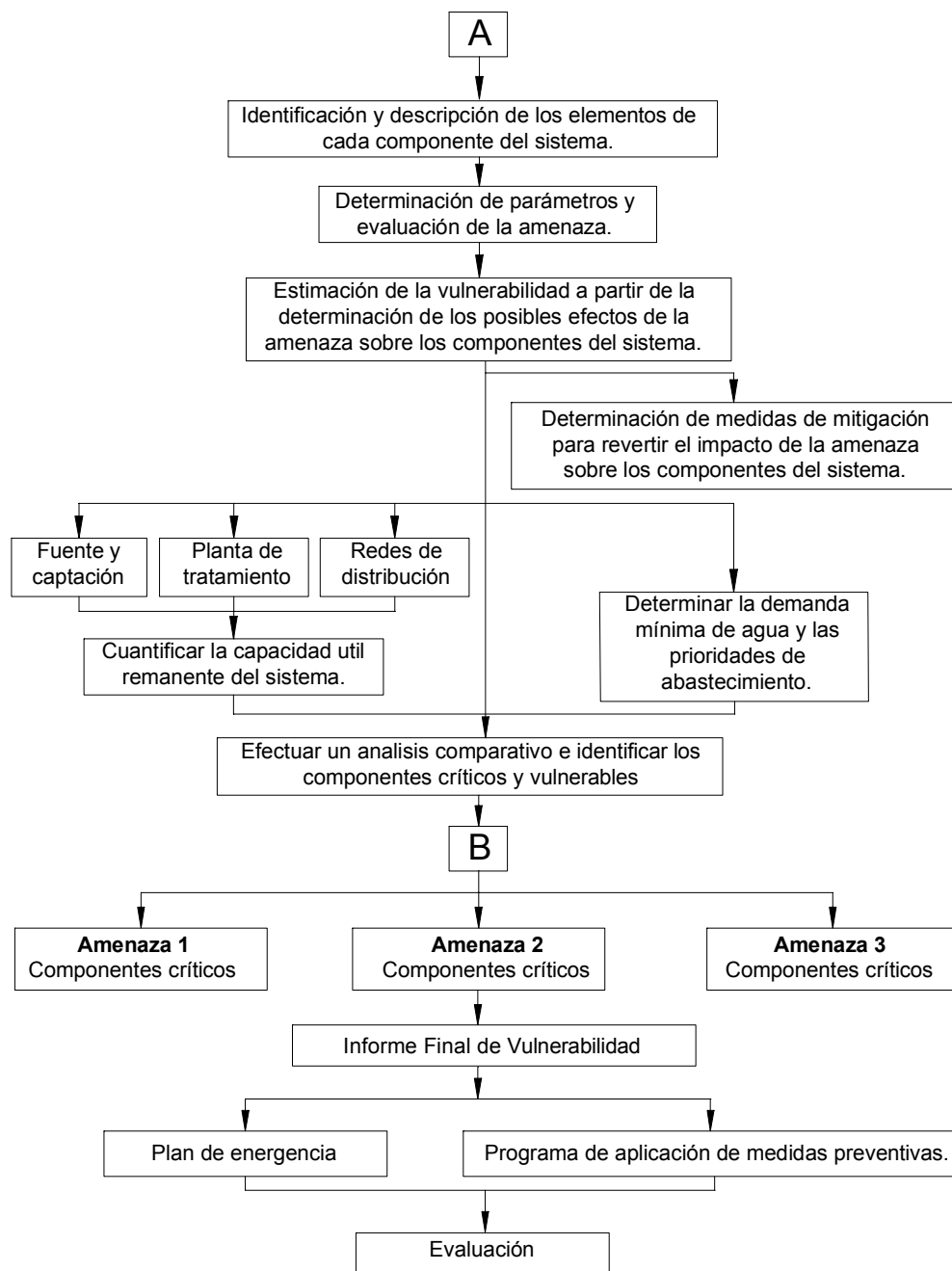


Figura 20. Flujograma típico para el análisis de vulnerabilidad de un sistema de abastecimiento de agua potable (Fuente: OPS 1993)

Los elementos y factores que intervienen en el proceso de estimación de la vulnerabilidad son:

- El tipo de amenaza asociada.
- La susceptibilidad de las estructuras expuestas.
- El grado de confiabilidad de los equipos expuestos.
- La eficiencia de la organización institucional.
- El nivel de operación y mantenimiento.
- Los componentes de soporte y servicio (transporte, comunicaciones, suministro de materiales, suministro eléctrico).
- La capacidad de respuesta.

La estimación de la vulnerabilidad permite identificar las medidas que pueden adoptarse y, por ende, programar rápidamente las acciones para reducir el efecto de la amenaza sobre el sistema.

6.4.3. Identificación de los Componentes Críticos

En el flujograma de la **figura 21** se ilustra la secuencia de actividades para identificar los componentes críticos del sistema o sectores del servicio ante una determinada amenaza. Una vez estimados los posibles efectos de la amenaza sobre el sistema debe cuantificarse su capacidad útil remanente, para lo cual se requiere un conocimiento cabal del mismo. La determinación de la confiabilidad (la inversa de la vulnerabilidad) en lo relativo a la cantidad de agua permite tener un primer parámetro para la determinación de la capacidad útil remanente del sistema capaz de satisfacer la demanda mínima de agua.

Para estimar el tiempo de rehabilitación, que es el tiempo necesario para habilitar un componente de modo tal que pueda suministrar agua en condiciones normales, se requiere conocimiento y experiencia en el mantenimiento del mismo. Dicho período depende de la magnitud del daño, la disponibilidad de recursos para la rehabilitación, y la facilidad de acceso al lugar. A fin de tener un margen de seguridad en la determinación se sugiere adoptar un tiempo de rehabilitación que considere valores máximos y mínimos en días. Los valores máximos permiten determinar el tiempo de rehabilitación compuesto para todo el sistema. En este punto deben tenerse en cuenta la existencia de fuentes alternas capaces de suministrar un porcentaje del caudal faltante. Las mismas pueden ser conexiones con otros sectores que puedan activarse en un momento dado, así como fuentes de reserva o particulares.

Para los sistemas de abastecimiento que por sus características presentan un grado de análisis más complejo es necesario conocer la forma en que se distribuye el agua. Para ello deben identificarse claramente los diferentes sectores o zonas de servicio de acuerdo con presiones, caudales y horas de suministro.

Los requerimientos mínimos de agua de la población y las prioridades de abastecimiento se obtienen en base a estudios especializados y la realidad de cada región considerando

factores como el clima, uso y tiempo de duración de la emergencia. Cuando el sistema colapsa parcial o totalmente, las empresas deben proveer por medios diferentes a los habitantes, en forma temporal, una cantidad mínima de agua con la calidad requerida.

Una vez determinada la capacidad útil remanente de cada componente, el tiempo de rehabilitación de las mismas y la demanda mínima de cada sector, es posible hacer un análisis comparativo ordenado sector por sector, e identificar los componentes más críticos ante la amenaza. Para ello puede emplearse el criterio de grado de confiabilidad.

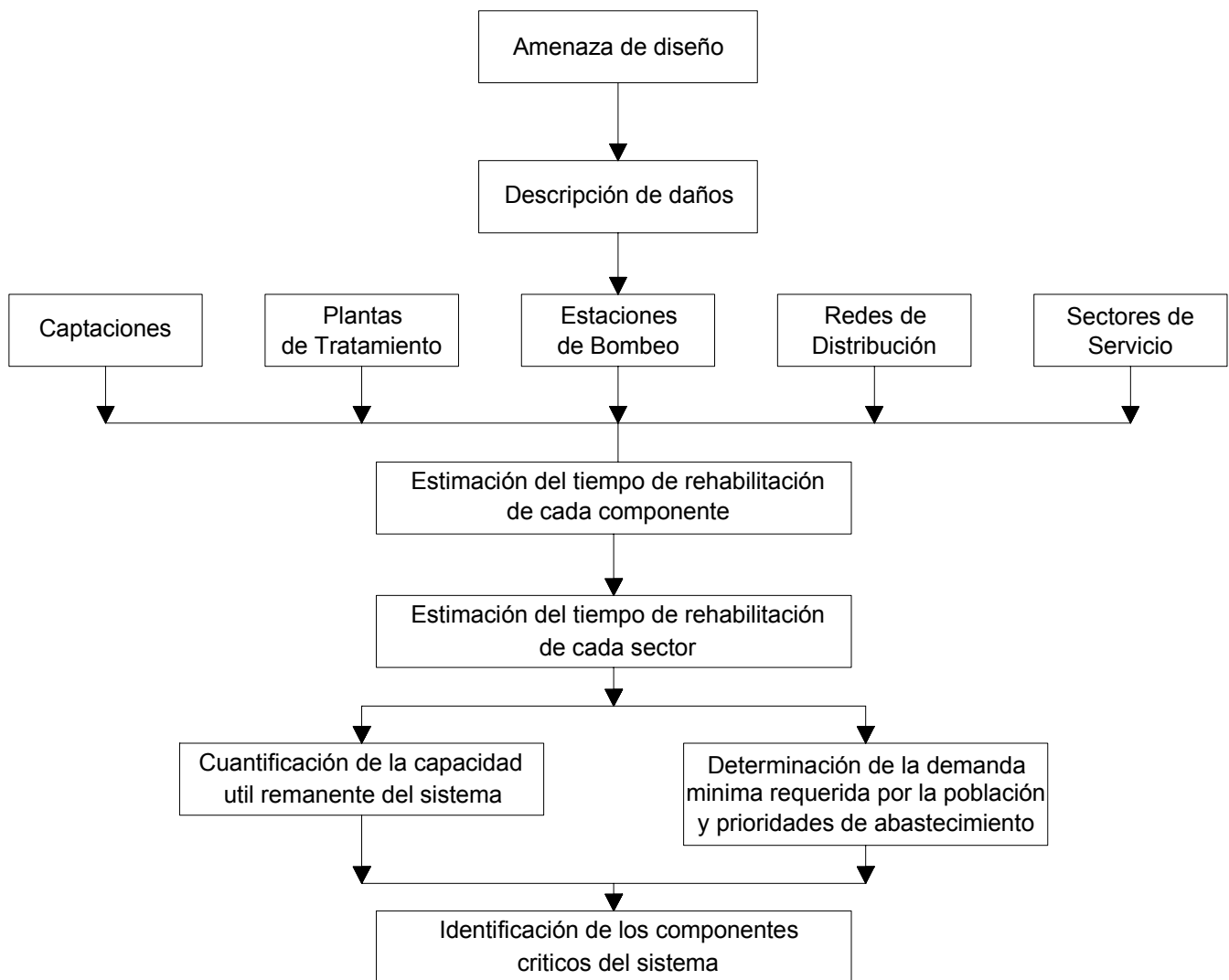


figura 21. Flujograma para la identificación de componentes críticos en evaluaciones de amenazas

6.5. ELABORACIÓN DE PLANES DE EMERGENCIA

Estos planes tienen como objetivos describir los métodos y la red de funciones y responsabilidades a emplear durante la emergencia, lo cual implica la elaboración de instructivos de operación para distintas actividades durante el accidente.

Los planes operativos deben estar relacionados con una amenaza específica y con las diferentes unidades existentes para la operación y mantenimiento de los sistemas. De este modo, la unidad encargada de la captación de agua, por ejemplo, debe contar con sus planes operativos de emergencia frente a inundaciones, sequías, y otras amenazas potenciales existentes en su ámbito de jurisdicción.

En función de las características del impacto (repentino o retardado) y de la labor por realizar (de operación o mantenimiento), el diseño del plan operativo comprenderá acciones previas (con la posibilidad de incluir simulacros), o deberá ser puesto en marcha de inmediato.

El plan de operaciones de emergencias debe detallar los métodos y procedimientos para cumplir con los objetivos del plan de contingencias. Asimismo debe determinar quién hace qué y cuándo, valiéndose de los recursos y organización existentes.

A su vez, debe actualizarse cada vez que los recursos, la capacitación del personal, y/o la vulnerabilidad del sistema cambien (debe ser dinámico). Por otro lado, debe constituir una guía de acción con especificaciones sólo de los detalles importantes, por lo que debe ser claro, conciso, y completo. A su vez, debe ser de conocimiento de todo el personal.

El enfoque más eficiente para implementar el plan es elaborar cuadernillos e instructivos que expliquen los procedimientos a seguir por el personal. El tipo y diseño de cada formulario dependerá de la amenaza de interés. En las **Figura 22** y **Figura 23** se presentan dos ejemplos de instructivos: un inventario de fuentes alternativas y un formulario de prioridades de abastecimiento respectivamente.

POZO <input type="checkbox"/> MANANTIAL <input type="checkbox"/> OTRA <input type="checkbox"/> CAUDAL _____ l/s
UBICACION: _____ PROPIETARIO: _____ PERSONA DE CONTACTO: _____ TELEFONO: _____ FACILIDADES DE EXTRACCION: _____ CALIDAD DE AGUA: _____ ENERGIA DISPONIBLE O REQUERIDA: _____ RESTRICCIONES: _____ OTROS DATOS: _____
CROQUIS DE LA INSTALACION
INDICAR LA FACILIDAD DE ACCESO PARA LOS CAMIONES CISTERNA Y RELACION CON LA RED DE SERVICIO

Figura 22. Inventario de fuentes alternativas

INSTITUCION: _____ TIPO: _____ USO EN CASO DE EMERGENCIA: _____ DIRECCION: _____ TELEFONO: _____ PERSONA DE CONTACTO: _____ TELEFONO: _____ SISTEMA DE ABASTECIMIENTO: PROPIO <input type="checkbox"/> RED PUBLICA: <input type="checkbox"/> CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO: _____ m³ DEMANDA DIARIA MAXIMA: _____ l/s MINIMA: _____ l/s HIDRANTES MAS CERCANOS (ubicación): _____
CROQUIS DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO Y ALMACENAMIENTO
INDICAR LA FACILIDAD DE ACCESO PARA LOS CAMIONES CISTERNA

Figura 23. Formulario de prioridades de abastecimiento

7. IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES POR CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE REPRESAS

En la **Tabla 65** y **Tabla 66** se presenta un listado de los impactos potenciales típicos generados por la creación de un cuerpo de agua artificial en sus diferentes etapas de Construcción y Operación respectivamente.

Impactos potenciales durante la etapa de construcción	
1.	Alteración de la calidad del agua.
2.	Erosión de suelos y pérdida de productividad.
3.	Compactación de suelos.
4.	Vertimiento de residuos sólidos.
5.	Generación de ruidos ofensivos.
6.	Incremento de polvo atmosférico.
7.	Aumento de la inestabilidad de pendientes.
8.	Modificación de la dinámica de recarga de aguas subterráneas.
9.	Pérdida de la cobertura vegetal.
10.	Alteración del paisaje.
13.	Riesgo de accidentes durante las construcciones.
14.	Alteración de estilos de vida de pobladores locales.
15.	Destrucción accidental de sitios arqueológicos.
16.	Facilitación del desarrollo no planificado.
17.	Interrupción o modificación de servicios turísticos.
18.	Alteración de zonas de recreación.
19.	Conflictos sociales por reasentamientos involuntarios.

Tabla 65. Impactos ambientales potenciales generados por la construcción de represas

Impactos potenciales durante la etapa de operación	
EN EL ÁREA A INUNDAR	1. Alteración del equilibrio hidrológico de la cuenca.
	2. Pérdida de velocidad de corriente.
	3. Disminución de la velocidad en tributarios.
	4. Sedimentación en el embalse.
	5. Erosión en la margen del vaso.
	6. Inestabilidad del relieve ribereño.
	7. Incremento de la descomposición de materia orgánica.
	8. Deficiencia de oxígeno disuelto.
	9. Estratificación térmica.
	10. Impacto del suelo inundado sobre la calidad del agua.
	11. Incremento de la eutroficación.
	12. Formación de pantanos.
	13. Facilitación de las condiciones de habitabilidad para especies acuáticas con implicancias sanitarias (p.e. vectores de enfermedades).
	14. Desaparición de especies no tolerantes a condiciones lóxicas.
	15. Interrupción de rutas migratorias de peces.
	16. Reducción de áreas cultivables.
	17. Aporte de residuos por actividades turísticas.
AGUAS DEBAJO DE LA REPRESA	1. Alteración de la calidad del agua e interferencia con la biota.
	2. Eliminación del aporte de sedimentos a la vegetación ribereña.
	3. Cambios en la trama trófica por variación de la temperatura.
	4. Disminución de nutrientes en agua para riego.
	5. Aumento de la salinización por cambio del régimen.
	6. Cambios en el uso del suelo.

Tabla 66. Impactos ambientales potenciales generados por la operación de represas

7.1. IMPACTOS SOBRE LA HIDROLOGÍA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

El represamiento puede impactar sobre la hidrodinámica de las aguas subterráneas, ya que una disminución en los niveles de agua del río aguas abajo de la represa conduce a que la recarga producida en los acuíferos conectados hidráulicamente al mismo pueda verse sensiblemente afectada. Este efecto puede ser especialmente importante en aquellos acuíferos de zonas áridas cuya recarga se debe fundamental o exclusivamente a la infiltración de las aguas del río (por ejemplo, el río San Juan en el valle de Tulúm).

Por otra parte, el endicamiento genera la elevación de la superficie freática en el área próxima, tanto aguas arriba como aguas abajo del lago. Dicho ascenso puede tener importantes consecuencias agrícolas, haciendo algunos terrenos demasiado húmedos para algunos cultivos o incluso anegándolos, o viceversa, mejorando las condiciones de áreas que inicialmente eran demasiado secas.

La construcción de un embalse produce aguas abajo del mismo un incremento en el poder erosivo del curso de agua debido a la menor cantidad de sólidos transportados. Aguas arriba de la represa, en cambio, la disminución en la velocidad de flujo provoca sedimentación en el lago, por lo que debe promoverse el manejo de la cuenca para evitar su entarquinamiento. En la medida de lo posible, las actividades transformadoras como éstas deben aplicarse en cursos de agua que ya se encuentran modificados de manera de preservar ríos intactos dentro de la región.

7.2. IMPACTOS SOBRE EL ECOSISTEMA

La creación de un cuerpo de agua artificial y la alteración en la dinámica de un río producen un impacto muy significativo sobre los ecosistemas acuáticos. Los cambios hidrológicos pueden afectar ecosistemas que se encuentran aguas abajo del embalse, y que dependen de una cierta dinámica de inundaciones, incluyendo áreas importantes para la pesca (e.g., llanuras de inundación, planicies de marea, bañados). Los ecosistemas aguas abajo también pueden verse afectados por el aumento del poder erosivo del río, mientras que aguas arriba del embalse la sedimentación puede afectar la dinámica de las comunidades ribereñas.

La alteración de la dinámica del río y la barrera física impuesta por el embalse pueden afectar los movimientos de peces a lo largo del curso de agua, a la vez que se propagan algunas especies típicas de cuerpos lénticos. El aumento de las poblaciones piscícolas en el lago puede minimizar ciertos efectos favoreciendo las actividades pesqueras, pero también aumentar otros. Las áreas y métodos de pesca, el cultivo de peces y el comercio deben ser tenidos en cuenta para su manejo. Los trasvasamientos de cuencas pueden interferir a la vida acuática por la introducción de nuevos predadores o competidores.

El represamiento también impacta sobre la flora acuática, siendo muy común la proliferación de plantas flotantes tales como los camalotes (*Eichhornia spp.*) y los repollitos de agua (*Pistia spp.*). Esto, a su vez, afecta la calidad del agua, incrementa el riesgo de desarrollo de vectores, y la pérdida de agua por evapotranspiración. También puede afectar la navegación, las actividades recreativas, la pesca y el riego.

La flora y fauna terrestre también pueden verse afectadas. Las extinciones pueden ser prevenidas con una planificación adecuada y compensando la pérdida de territorio con la creación de reservas en sitios semejantes. Puede ser útil realizar, por ejemplo, rescate de fauna, repoblamiento y reubicación. Generalmente se requiere la construcción de canales u otras instalaciones que permitan el cruce de la represa.

Por otra parte, la vegetación cubierta con el agua del lago, de no ser adecuadamente eliminada, se descompone consumiendo grandes cantidades de oxígeno. Esto se agrava de existir estratificación vertical, ya que al no producirse mezcla en la columna de agua el fondo se vuelve anaeróbico. La descomposición anaeróbica de materia orgánica produce gases tóxicos para la vida acuática y dañinos para las maquinarias.

La pérdida de grandes áreas de tierras aptas para agricultura, bosques u otros ambientes naturales constituye otro impacto importante. Una adecuada elección de la ubicación de la represa reduce estos impactos. Por otro lado, a través del uso múltiple del cuerpo de agua se pueden obtener beneficios tales como riego, pesca, reservas para aves y recreación. La alteración del flujo de los ríos puede permitir el régimen permanente en arroyos o ríos temporarios, y reducir los riesgos de inundación.

7.3. IMPACTOS SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua del embalse puede verse afectada por diversos factores que incluyen un tiempo alto de retención del agua, la pérdida de flujo, el incremento de nutrientes, la contaminación por escurrimiento de campos agrícolas y ganaderos, el vertido de efluentes industriales y/o urbanos, y la presencia de patógenos. Algunas enfermedades relacionadas con el agua (schistosomiasis, malaria, onchocerciasis) pueden incrementarse si no se toman las medidas adecuadas.

7.4. MEDIDAS TÍPICAS DE PROTECCIÓN AMBIENTAL PARA LA CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE REPRESAS

En la **Tabla 67** se resumen las acciones y medidas que se aplican para prevenir, minimizar y compensar los impactos típicos generados por la creación de represas.

Factores	Impactos	Acciones y medidas
Recursos Hídricos	Alteración del régimen de escurrimiento aguas abajo. Intensificación de los procesos erosivos aguas abajo y de sedimentación aguas arriba. Elevación del nivel de la napa freática.	Programa de control de erosión y sedimentación. Plan de drenaje de aguas pluviales. Monitoreo de la erosión-sedimentación. Monitoreo del nivel freático. Plan de manejo sustentable de los recursos hídricos.
Relieve	Inestabilidad de pendientes. Interferencia en los depósitos de arena y grava.	Programa de protección de pendientes. Monitoreo de pendientes potencialmente inestables.
Flora y Fauna	Eliminación de hábitats. Reducción de poblaciones, en particular especies raras y/o amenazadas de extinción. Fragmentación y aislamiento de ambientes. Alteración en las comunidades.	Plan de recuperación de áreas degradadas. Programa de manejo de flora y fauna. Programa de rescate. Programa de reforestación. Programa de protección de poblaciones.
Biocenosis acuática	Alteración de las características limnológicas aguas arriba. Alteración de las características limnológicas aguas abajo. Alteración de la ictiofauna aguas arriba. Alteración de la ictiofauna aguas abajo.	Programa de deforestación de la cuenca de inundación. Plan de control de la eutrofización/salinización. Determinación de fajas de preservación permanente. Monitoreo de parámetros limnológicos y calidad del agua superficial. Monitoreo de macrófitas acuáticas. Programa de conservación y monitoreo de la ictiofauna; piscicultura.
Dinámica Económica y Organización de la Producción	Pérdida de tierras con potencial productivo. Pérdida de establecimientos rurales. Cambio en la práctica de la pesca.	Programa de reinserción productiva del sector agrícola. Programa de readecuación de la actividad pesquera.
Organización Territorial e Infraestructura Regional	Inundación total y/o parcial de asentamientos rurales. Interrupciones de accesos y transportes.	Programa de recomposición de infraestructura. Programa de relocalización de equipamientos. Programa de abastecimiento de agua. Programa de recomposición de la infraestructura de transporte.
Población	Desplazamiento inducido de la población Alteración en el patrón de vida de la población Alteración en el perfil de la demanda en servicios de salud	Programa de relocalización de la población afectada Monitoreo y evaluación del plan de relocalización de la población Programa de educación ambiental Programa de salud pública
Patrimonio Histórico y Cultural	Desaparición y/o alteraciones de referencias y manifestaciones de la cultura popular	Programa de rescate y valorización de la historia y tradiciones regionales

Tabla 67. Acciones y medidas aplicables para prevenir, minimizar y compensar los impactos generados por la creación de una represa

8. BIBLIOGRAFÍA

- Acquaviva, L. 1991. Las Redes de Infraestructura, su Planificación y Control en Áreas de Riesgo Sísmico. 7^{mo}. Congreso Argentino de Saneamiento. Págs. 347-363.
- Advisory Council on Historic Preservation, 1986. Protection of Historic Properties: Regulations of the Advisory Council on Historic Preservation Governing the Section 106 Review Process, 36 Code of Federal Regulations Part. 800, Washington DC, Págs. 1-19.
- Alonso, G.; M. Anguilo y A. Ramos. 1983. Directrices y Técnicas Para la Estimación de Impactos. Trabajos de la Cátedra de Planificación E.T.S.I.M. de la Universidad Politécnica de Madrid.
- APN. 1994. El Sistema Nacional de Areas Naturales Protegidas de la Argentina. Diagnóstico de su Patrimonio Natural y su Desarrollo Institucional. Administración de Parques Nacionales, 129 pp.
- Atkinson, S.F. 1985. Habitat Based Methods for Biological Impact Assessment, The Environmental Professional, 7: 265-282.
- Auge, M.P. 1991. Sobreexplotación del Acuífero Puelche en La Plata - Argentina. IAH XXIII Intern. Congress Proceedings TI, v. 1: 411-415. Islas Canarias.
- Auge, M.P. y N. Bucich. 1995. Manejo del Agua Subterránea en La Plata, Argentina. 4^{tas}. Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, v.2: 229-238.
- Bagley, M.D.; C.A. Kroll & C. Clark. 1973. Aesthetics in Environmental Planning. EPA 600/5-73-009, US Environmental Protection Agency, Washington DC.
- Banco Mundial, 1991. Environmental Assessment Sourcebook, Washington, D.C., Banco Mundial, Departamento del Medio Ambiente.
- Barros, R.T.V; C.A.L Chernicharo; L. Heller & M. Von Sperling (eds), 1995. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. Volume 2. Saneamento. DESA – UFMG – FEAM, 221pp.
- Bastedo, J.D.; J.G. Nelson & J.B. Theberge. 1984. Ecological Approach to Resource Survey and Planning for Environmentally Significant Areas: The ABC Method, Environmental Management, 8(2): 125-134.
- Battelle Columbus Laboratories. 1972. Battelle Environmental Evaluation System for Water Resource Planning, Columbus, Ohio.
- Beer, A.R. 1990. Environmental Planning for Site Development, Chapman and Hall, London, Págs. 133-140.
- Bisset, R. & P. Tomlinson. 1988. En "Environmental Impact Assessment. Theory and Practice", (Wathern, P., ed.), Chapman and Hall, New York, 332 pp.
- BID. 1991. Aplicación de los Procedimientos Ambientales en el Sector del Saneamiento y el Desarrollo Urbano. Directrices. Banco Interamericano de Desarrollo.

- Bisset, R. & P. Tomlinson. 1988. En "Environmental Impact Assessment. Theory and Practice", (Wathern, P., ed.), Chapman and Hall, New York, 332 pp.
- Bocanegra, E.M.; D.E. Martínez; H.E. Massone & J.L. Cionchi. 1993. Exploitation Effect and Salt Water Intrusion in the Mar del Plata Aquifer, Argentina. Study and Modelling of Saltwater Intrusion Into Aquifers. Proceeding 12th Saltwater Intrusion Meeting, Barcelona, Nov. 1992. CIHS. CIMNE. Barcelona, 1993: 177-191.
- Canter, L.W. & L.G. Hill. 1979. Handbook of Variables for Environmental Impact Assessment, Ann Harbor Science Publishers, Ann Arbor, Michigan, USA, 203pp.
- Canter, L.W. 1998. Manual de Evaluación de Impacto Ambiental. Técnicas Para la Elaboración de Estudios de Impacto. MacGraw-Hill, Madrid, España, 841pp.
- Carlson, R.E. 1977. A trophic State Index for Lakes. Limnol. Oceanogr., 22: 361-369.
- Carney, R.S. 1987. A Review of Study Designs for the Detection of Long Term Environmental Effects of Offshore Petroleum Activities. En "Long Term Environmental Effects of Offshore Oil and Gas Development", (Boesch, D.F. and Rabalais N.N., eds.), Elsevier, New York.
- Carney, R.S. 1987. A Review of Study Designs for the Detection of Long Term Environmental Effects of Offshore Petroleum Activities. En "Long Term Environmental Effects of Offshore Oil and Gas Development", (Boesch, D.F. and Rabalais N.N., eds.), Elsevier, New York.
- Chen, H., Y Zhang; X. Wang; Z. Ren & L. Li. 1997. Salt-water intrusion in the lower reaches of the Weihe River, Shandong Province, China. Hydrogeology Journal, Vol. 5, N°. 3: 82-88.
- CoFAPyS. 1995. Procedimientos Ambientales Para Programas y Proyectos Financiados por CoFAPyS (documento interno).
- Conesa Fernández Vitora, V. 1997. Guía Metodológica Para la Evaluación del Impacto Ambiental, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España, 412pp.
- Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (CoFES), 1993. Normas de Calidad de Aguas de Bebida. Serie Documento Técnico N° 1. Dirección Agua Potable y Saneamiento de Jujuy.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton & M. van der Belt, 1997. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature, 387: 253-260.
- Couillard, D. & Y. Lefevre. 1985. Analysis of Water Quality Indices. J.Envir.Mgmt. 21: 161-179.
- Cuervo L., J. Durazo, P. Ferrat, P. Gaona, J.M. Aceves y J.L. Ortiz. 1977. Confrontación de Métodos Isotópicos y Químicos en el Estudio del Comportamiento de Acuíferos Explotados Para La Agricultura. Conferencia Mundial del Agua, Mar del Plata.
- Custodio, E. y M.R. Llamas (eds.). 1983. Hidrología Subterránea. Segunda Edición, Ediciones Omega, S.A., Barcelona.

- Darcy, H. 1956. Les fontaines publiques de la Ville de Dijon, V. Dalmont, Paris, 674 Págs.
- Di Pace M., S. Federovisky, G. Gallopin, I. Gómez, M. Gross, P. Gutman, J. Hardoy, B. Marchetti, J. Morello, A. Pérez y M. Winograd, 1992. Las Utopías del Medio Ambiente. Desarrollo Sustentable en la Argentina. Centro Editor de América Latina, Buenos Aires, Argentina, 207 pp.
- Dias Moreira, I.V. 1992. Origem e Síntese Dos Principais Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA). En Manual de Avaliação de Impactos Ambientais, Governo do Estado do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Díaz Curiel, J., A. Rozycki, A. Maldonado y M. Gómez Martos, 1991. Red de Control de Conductividad-Temperatura Para Seguimiento de la Intrusión Marina. Aplicación al Acuífero Costero de Almuñecar (Granada). XXIII Congreso A.I.H. "Sobreexplotación de Acuíferos", Puerto de la Cruz, Islas Canarias, España. 51-54.
- Domínguez P. y E. Custodio. 1993. Sea Water Intrusion in The Lower North-Eastern Aquifer of the "Campo de Dalías" (Almería, Southeastern Spain): Preliminary Study of Monitoring Data. Study And Modelling of Saltwater Intrusion Into Aquifers. Proceedings 12th Saltwater Intrusion Meeting, Barcelona, Noviembre, 1992. CIHS. CIMNE, Barcelona, 1993: 631-659.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific (ESCAP). 1990. Environmental Impact Assessment: Guidelines for Water Resources Development, ST/ESCAP/786. United Nations, New York, Págs. 19-48.
- Fischer, W.D. & G.S. Davies, 1973. An Approach to Assessing Environmental Impacts. Journal of Environmental Management, 1: 207-227.
- Gariboglio, M.A. y S.A. Smith, 1993. Corrosión e Incrustación Microbiológica en Sistemas de Captación y Conducción de Agua. Aspectos Teóricos y Aplicados. Serie Investigaciones Aplicadas, Colección Hidrología Subterránea, Consejo Federal de Inversiones, 99 pp.
- Ghyben & W. Badon, 1889. Nota in Verband Met de Voorgenomen Put Boring Nabij Amsterdam. The Hague. K. Ins. Ing. Tydschrift, Págs. 8-22.
- Gormark F., M. Ahlund & M. Eriksson, 1986. Are Indices Reliable for Assessing Conservation Value of Natural Areas?. An Avian Case Study. Biological Conservation, 38: 55-73.
- Green, R.H. 1979. Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists. Wiley and Sons, New York.
- Guhl, W. 1987. Aquatic Ecosystem Characterized by Biotic Indices. Int.Revue Ges. Hydrobiol, 72: 431-455.
- Heape, M. 1991. Visual Impact Assessment. Twelfth International Seminar on Environmental Assessment and Management, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland.
- Heath, R.C. 1983. Basic Ground-Water Hidrology. US Geological Survey Water Supply Paper 2220, 85 pp.

- Hernández, M. 1978. Reconocimiento Hidrodinámico e Hidroquímico de la Interfase Agua Dulce – Agua Salada en las Aguas Subterráneas del Estuario del Plata (Pdos. de Quilmes y Berazategui, Buenos Aires); VII Congreso Geológico Argentino, Neuquén. 9-15 Abril, 1978. Actas, II: 273-285.
- Hernández M.; J. Fasano y E. Bocanegra; 1989. Prevención de Riesgos en la Recuperación de Niveles Piezométricos en Áreas Urbanas de Argentina; Segunda Conferencia Latinoamericana de Hidrología Urbana, Buenos Aires, Argentina. 27-29 de Noviembre, 1989. Actas: 130-136.
- Hernández, M.A.; J. Fasano y E. Bocanegra. 1991. Overexploitation Effects on the Quaternary Aquifer of Mar del Plata (Argentina). XXIII I.A.H. Congress "Aquifer Overexploitation". Canary Island, Spain. 431-435.
- Hernández, M.A.; N. González; A. Ruiz de Galarreta y L.F. Minghinelli, 1995. Geohidrología Aplicada en un Sector del Partido de Zárate (Provincia de Buenos Aires). IV Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, Junín, 1995. Actas 2: 255-264.
- Herzberg A. 1901. Die Wasserversorgung Einiger Nordseebäder. Jour. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 44 (Münich), Págs. 815-819, 842-844.
- Hubbert, M.K. 1940. The Theory of Ground-Water Motion. Journal of Geology. Vol. 48. No. 8: 785-944.
- Hwang, C. & K. Yoon. 1981. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications a State-Of-The-Art Survey. Springer Verlag, New York.
- HYTSA Estudios y Proyectos S.A. 1996. Evaluación de Impacto Ambiental de los Servicios de Saneamiento de la Provincia de Catamarca. Informe Final para la SubSecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.
- HYTSA Estudios y Proyectos S.A. 1998. Evaluación de Impactos Ambientales del Proyecto "Plan Maestro de Saneamiento Urbano de Río Segundo (Córdoba): Agua Potable, Desagües y Tratamiento Cloacal, Desagües Pluviales, y Manejo de Residuos Sólidos Urbanos". Informe Final para la SubSecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.
- HYTSA Estudios y Proyectos S.A. 1998. Evaluación Ambiental de Aguas de Corrientes S.A. y del ENTE de Regulación del Sector, en el Marco Proyecto "Proceso de Reorganización del Sector de Agua Potable y Desagües Cloacales de la Pcia. de Corrientes: Evaluación de la Prestación de la Calidad del Servicio". Informe Final Para la SubSecretaría de Recursos Hídricos de la Nación.
- HYTSA Estudios y Proyectos S.A. 1998. Evaluación de Impactos Ambientales del Proyecto "Estudios y Diseños para el Sistema Cloacal del Gran San Juan". Informe Final para Obras Sanitarias Sociedad del Estado (OSSE), Pcia. de San Juan.
- HYTSA Estudios y Proyectos S.A. 1998. Estudios Ambientales del Proyecto "Provisión de Agua Potable y Servicio de Desagües y Tratamiento Cloacal a Tres Isletas, Chaco". Informe Final para la Administración Provincial del Agua (APA), Pcia. de Chaco.
- ISEEA (International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment). 1996. Final Report. Environmental Assessment in a Changing World: Evaluating Practice to

Improve Performance. Prepared by B. Sadler. Internet Edition Housed on Australian EIA Network.

- Izuka, S.K. & S.B. Gingerich. 1998. Estimation of the Depth to the Fresh-Water/Salt-Water Interface From Vertical Head Gradients in Wells in Coastal and Island Aquifers. *Hydrogeology Journal*, Vol. 6, No. 3: 365-373.
- Kennedy & Ross, 1992. An Approach to Integrate Impact Scoping With Environmental Impact Assessment. *Environmental Management*, 16: 475-484.
- Kleinsorge E.C., J. Scagnetti, M. Buniva, R. Grigolato, C. Mastandrea, A. Loteste, O. Martinez y G. Stringhini; 1997. Estudio del Impacto Biológico del Arsénico en Dos Poblaciones de la Provincia de Santa Fe. Congreso Internacional Sobre Aguas, Buenos Aires, Argentina.
- Kruse, E. y A. Rojo. 1989. Interpretación de los Conos de Depresión de Mar del Plata (Buenos Aires). Primer Análisis. Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas: 421-430; Tandil, 1985.
- Lavitt, N.; R.I. Acworth y J. Jankowski. 1997. Vertical Hydrochemical Zonation in a Coastal Section of the Botany Sands Aquifer, Sydney, Australia. *Hydrogeology Journal*, Vol. 5, No. 2: 64-74.
- Leopold L.B., F.E. Clarke, B.B. Hanshaw & J.R. Balsley; 1971. A Procedure for Evaluating Environmental Impact, Circular 645, US Geological Survey, Washington DC, USA.
- Levin, M., C.R. Cortelezzi y A.J. Figgini; 1973. Uso de Isótopos Estables (Deuterio y Oxígeno-18) Para Determinar el Origen de la Salinización del "Puelchense" en la Ciudad de la Plata y Alrededores. V. Congreso Geológico Argentino, Actas, I: 373-393.
- Magnuson J.J., B.J. Benson, and T.K. Kratz; 1990. Temporal Coherence in the Limnology of a Suite of Lakes in Wisconsin. *USA Freshwater Biology*, 23: 145-159.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. (ed.) Omega, Barcelona, 1010 pp.
- Martin, A.P. 1997. Optimización de las Aguas Subterráneas Arsenicales del Norte de Santiago del Estero, Mediante el Empleo del Hidróxido de Calcio. Congreso Internacional Sobre Aguas, Buenos Aires, Argentina.
- Martin, J. 1984. Visual Impact Assessment Techniques for Single Site Appraisal. Fifth International Seminar on Environmental Impact Assessment, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland.
- McDonald, M.G. and A.W. Harbaugh; 1988. MODFLOW, a Modular Three-Dimension Finite-Difference Groundwater Flow Model. Washington D.C., U.S. Geological Survey Open-File Report 83-875, Chapter 1.
- McGimsey, C.R. 1973. *Archaeology and Archeological Resources*. Society for American Archaeology, Washington DC.
- McHarg, I.L. 1969. *Design With Nature*. New York, Doubleday & Company Inc., 197pp.

- Monbailliu, X. 1983. Current Trends in Landscape Evaluation. En "Environmental Impact Assessment", PADC Environmental Impact Assessment and Planning Unit eds. Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, The Netherlands.
- Monbailliu, X. 1984. Assessment of Visual Impact. En "Perspectives on Environmental Impact Assessment", B.D. Clark and A.D. Gilad Eds., D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, The Netherlands, Págs. 265-271.
- National Academy Press. 1995. Mexico City's Water Supply - Improving the Outlook for Sustainability; National Research Council, Academia Nacional de la Investigación Científica, Academia Nacional Ingeniería. Página de Internet: <http://lanic.utexas.edu/la/Mexico/water/book.html>
- Nishikawa, T. 1997. Testing Alternative Conceptual Models of Seawater Intrusion in A Coastal Aquifer Using Computer Simulation, Southern California, USA. Hydrogeology Journal, Vol. 5, No. 3: 60-74.
- Nygaard, G. 1949. Hydrobiological Studies in Some Ponds and Lakes. Part II. The Quotient Hypothesis and Some New or Little Known Phytoplankton Organisms. Kgl. Danske. Vidensk. Selsk. Biol. Skrifter, 7(1): 1-293.
- OED, 1994. Managing Urban Water Supply and Sanitation: Operation and Maintenance. OED Lessons and Practices, Number 5, The World Bank.
- OPS, 1985. Guías Para la Calidad de Agua Potable. Recomendaciones. Publicación Científica, 136 pp.
- OPS, 1990. Plan de Emergencia Para un Sistema de Agua Potable. Manual Sobre Preparación de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Para Afrontar Situaciones de Emergencia. Cuarta Parte. OPS-OSP-Regional de OMS.
- OPS, 1993. Planificación Para Atender Situaciones de Emergencia en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado. Cuaderno Técnico, 67pp.
- Panarello, H.O., C. Dapeña; P. García y A. Alvarez. 1993b. Estudio Isotópico e Hidroquímico de los Acuíferos de la Cuenca Norte Mendocina (Ríos Mendoza y Tunuyán). XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas, VI: 197-207.
- Panarello, H.O.; C. Dapeña y M. Auge. 1993a. Estudio Isotópico de la Salinización del Agua Subterránea en la Ciudad de La Plata y Zonas Vecinas. Buenos Aires, Argentina. XII Congreso Geológico Argentino y II Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas, VI: 146-152.
- Payne, B.R. 1980. Environmental Isotope Techniques for Studying Infiltration From Rivers to Groundwater. Actas de un Seminario Regional Para América Latina Sobre el Empleo de Técnicas Isotópicas en Hidrogeología. IAEA-TECDOC-502: 457-462.
- Rao, S.M., S.K. Jain; S.V. Navada; A.R. Nair & K. Shivanna. 1987. Isotopic Studies on Sea Water Intrusion and Inter-Relations Between Water Bodies: Some Field Examples. Isotope Techniques in Water Resources Development, IAEA. 403-425.
- Roldao J., N. Lopes, W. Stichler & A. Zuber. 1989. Artificial and Environmental Tracers in the Study of Leakage Under a Dike of the Samuel Reservoir, Porto Velho, Brazil. IAEA-TECDOC-502: 103-111.

- Ruiz Huidobro, O. 1971. La Intrusión de Agua de Mar en el Acuífero de Mar del Plata. I Congreso Hispano-Luso-Americano de Geología Económica. Tomo II, Sección 3; 845-857.
- Ruiz Huidobro, O. y R. Tófaló. 1979. La Intrusión de Agua de Mar en Acuíferos Litorales - Su Control en Mar del Plata (República Argentina). VI Congreso Geológico Argentino, Actas, II: 515-523.
- Sala, J.M. 1980. Investigación Geohidrológica Aplicada en el Área de Mar del Plata. Convenio Obras Sanitarias de la Nación –Universidad Nacional de Mar del Plata: "Contribución al Conocimiento Geohidrológico del Area de Mar del Plata y Aledaños". Fás. 3, 65 pp.
- Sala, J.M. 1982. Interfacie Compleja Agua Dulce - Agua Salina en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Primer Análisis, V Congreso Latinoamericano de Geología, Argentina, 1982. Actas, I: 627-636.
- Sanford, W.E. & S. Buapeng. 1996. Assessment of a Groundwater Flow Model of the Bangkok Basin, Thailand, Using Carbon-14-Based Ages and Palaeohydrology. Hydrogeology Journal, Vol. 4, No. 4: 26-40.
- Sastre, M.S.; A. Varillas; S. Boemo; S. Torres y P. Kirshbaum. 1997. Determinación de Arsénico en Aguas de la Provincia de Salta. Congreso Internacional sobre Aguas, Buenos Aires, Argentina.
- Schuytema, G.S. 1982. A Review of Aquatic Habitat Assessment Methods, EPA 600/S3-82002, US Environmental Protection Agency, Environmental Research Laboratory, Corvallis, Oregon.
- Shannon, C.E. & W. Weaver. 1949. A Mathematical Theory of Communication. Univ. Illinois Press, Urbana, Chicago, Londres, 125 pp.
- Simpson, H.E. 1949. Measurement of Diversity. Nature, 163:688.
- Skalski, J.R. & D.H. McKenzie. 1982. A Design for Aquatic Monitoring Programs. Journal of Environmental Management, 14: 237-251.
- Smardon, R.C. *et al.* 1988. Visual Resources Assessment Procedure for US Army Corps of Engineers, Instruction Rep. EL-88-1, US Army Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- Smardon, R.C.; J.F. Palmer & J.P. Felleman. 1986. Foundations for Visual Projects Analysis, John Wiley and Sons, New York.
- Smith, P.G.R. & J.B. Theberge. 1987. Evaluating Natural Areas Using Multiple Criteria: Theory and Practice. Environmental Management, 11(4): 447-460.
- Sonntag, N. C. 1985. Adaptative Environmental Assessment and Management (AEAM) as a Scooping Tool. Págs. 80-92. En: Environmental Planning for Large Scale Projects: Final Report. (Wiebe, J. D.; E. H. Kustan y S. Hum, Compiladores). Environment Canada, Vancouver, Canadá. 339 pp.
- Stefanescu, C. & A. Dassargues. 1996. Simulation of Pumping and Artificial Recharge in a Phreatic Aquifer Near Bucharest, Romania. Hydrogeology Journal, Vol. 4, No. 3: 72-83.

- Steinich B., O. Escolero & L.E. Marín; 1998. Salt-Water Intrusion and Nitrate Contamination in the Valley of Hermosillo and El Sahural Coastal Aquifers, Sonora, Mexico. *Hydrogeology Journal*, Vol. 6, No. 4: 518-526.
- Stewart-Oaten, A.; W.W. Murdoch & K.R. Parker. 1986. Environmental Impact Assessment: "Pseudoreplication" In Time?. *Ecology*, 67:929-940.
- Strassert, G. 1992. Metodologia de Avaliação de Impactos Ambientais: Críticas e Exigências. En: *Manual de Avaliação de Impactos Ambientais*, Governo do Estado do Paraná, Curitiba, Brasil.
- Sugio, S. & A. Rahim. 1993. Protection of Coastal Aquifer from Saltwater Intrusion by Artificial Recharge. Study and Modelling of Saltwater Intrusion into Aquifers. *Proceedings 12th Saltwater Intrusion Meeting*, Barcelona, Noviembre, 1992. CIHS. CIMNE, Barcelona, 1993: 319-331.
- Torrente, R. y A. Bonorino. 1988. Funcionamiento Hidrológico de la Laguna Epecuén, Provincia de Buenos Aires. 2das. Jornadas Geológicas Bonaerenses, Actas: 579-588.
- Underwood, A.J., 1996. On Beyond BACI. Sampling Designs That Might Reliably Detect Environmental Disturbances. En "Detecting Ecological Impacts. Concepts and Applications in Coastal Habitats, (Schmitt, R.J. & C.W. Osenberg, eds.), Academic Press, New York.
- US Army Corps of Engineers. 1976. A Tentative Habitat Evaluation System (HES) for Water Resources Planning. Lower Mississippi Valley Division, Vicksburg, Miss.
- US Army Corps of Engineers. 1980. A Habitat Evaluation System for Water Resources Planning. Lower Mississippi Valley Division, Vicksburg, Miss.
- US Fish and Wildlife Service, 1980. Habitat Evaluation Procedures (HEP). ESM 102, US Fish and Wildlife Service, Washington DC.
- Varni M., E. Usunoff, P. Weinzettel y R. Rivas, R. 1995b. Simulación de Niveles y Balance Hídrico de la Porción Media del Acuífero de la Cuenca del Arroyo Azul. 4tas. Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, v.2: 239-246.
- Varni, M.; E. Usunoff; P. Weinzettel y R. Rivas. 1995a. Simulación Diaria de Caudales con un Modelo Fundamentado Físicamente. 4tas. Jornadas Geológicas y Geofísicas Bonaerenses, v.2: 265-274.
- Voss, C.I. 1984. SUTRA, Saturated-Unsaturated Transport, a Finite-Element Simulation Model for Saturated-Unsaturated Fluid-Density-Dependent Groundwater Flow With Energy Transport or Chemically Reactive Single-Species Solute Transport. U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 84-4369, 409 p.
- Wathern, P. 1988. Environmental Impact Assessment. Theory and Practice. Chapman and Hall, New York, 332 pp.
- WHO. 1994. Operation and Maintenance of Urban Water Supply and Sanitation Systems. A Guide for Managers. World Health Organization, Geneva, 102 pp.
- Wu, J.T. 1986. Relation of Change in River Diatom Assemblages to Water Pollution. *Bot. Bull. Academia Sinica*, 27: 237-245.

- Wyant, J.G.; R.A. Meganck & S.H. Ham., 1995. A Planning and Decision-Making Framework for Ecological Restoration. *Environmental Management*, 19: 789-796.
- Yakirevich A., A. Melloul, S. Sorek, S. Shaath & V. Borisov; 1998. Simulation of Seawater Intrusion Into the Khan Yunis Area of the Gaza Strip Coastal Aquifer. *Hydrogeology Journal*, Vol. 6, No. 4: 549-559.
- Zhang, Y.; E. Bai; R. Libra; R. Rowden & H. Liu. 1996. Simulation of Spring Discharge from a limestone Aquifer in Iowa, USA. *Hydrogeology Journal*, Vol. 4, N°. 4: 41-54.