



UTN

FRBB

PROPUESTA DE REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES VERTIDAS AL ESTUARIO DE BAHÍA BLANCA



Tesista

Lic. Gustavo Fernando Merli

Directora: Dra. Mónica Baldini

Co-Directora: Mg. Ingeniera Olga Cifuentes

Bahía Blanca

2014

Dedicatoria

A mi familia, luz y guía, único sostén en esta empresa.

A mi esposa Silvina, por su paciencia y aliento.

*A mi hijo Lautaro, en quién deposito mi confianza
para seguir mi camino en esta vida.*

*A mi hija Joaquina, quién con su sonrisa ilumina
mis días.*

" Para vivir necesito poco y lo poco que necesito lo necesito poco."

(San Francisco de Asís)

Índice de contenidos

Índice de contenidos	3
Reconocimientos.....	9
Lista de tablas	11
Lista de figuras/gráficos	13
Glosario y abreviaturas	17
Introducción.....	27
Capítulo 1 - Análisis del Ciclo de Vida (ACV).....	33
1.1. Generalidades	35
1.2. Metodología del ACV	37
1.2.1. Definición de Objetivo y Alcances. La unidad funcional	39
1.2.2. Análisis del Inventario.....	42
1.2.3. Análisis del Impacto.....	43
1.2.3.1. Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos	46
1.2.3.2. Asignación de los resultados del Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV). Clasificación.....	49
1.2.3.3. Caracterización	50
1.2.3.4. Normalización	50
1.2.4. Interpretación de los resultados	52

1.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV): Métodos. CML 2001 - BASELINE	53
1.3.1. Categorías de Impacto.....	56
1.3.1.1. Agotamiento de los recursos abióticos	56
1.3.1.2. Cambio climático	59
1.3.1.3. Agotamiento del ozono estratosférico	61
1.3.1.4. Eutrofización.....	65
1.3.1.5. Formación de oxidantes foto-químicos.....	66
1.3.1.6. Toxicidad	67
1.3.2. Limitaciones de un ACV. Origen de la incertidumbre	71
1.4. Análisis del ciclo de vida con Sima-Pro	72
Capítulo 2 - Tratamiento de las aguas residuales	75
2.1. Necesidad del tratamiento de las aguas residuales	77
2.2. El tratamiento de las aguas residuales	77
2.2.1. Diferentes calidades de los efluentes	78
2.2.2. Procesos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales	78
2.2.2.1. Tratamiento de las aguas.....	79
2.2.2.2. Tratamiento de los fangos	91
2.3. Marco regulatorio en la Provincia de Buenos Aires	96
Capítulo 3 - Regeneración, Reciclado y Reúso de las aguas residuales	101

3.1. Introducción.....	103
3.2. Aplicaciones de las aguas residuales reutilizables	103
3.3. Criterios para el uso y manejo del agua regenerada. Determinación de la calidad requerida en función de la categoría	105
3.4.1. Reúso destinado al riego	107
3.4.2. Reúso industrial del agua regenerada	112
Capítulo 4 - Metodología.....	115
4.1. Metodología y universo de estudio	117
4.2. Fuentes	118
4.2.1. Fuentes primarias.....	118
4.2.2. Fuentes secundarias	119
4.3. Instrumentos	120
4.3.1. Definición del objetivo y alcance del ACV - Unidad Funcional	120
4.3.2. Límites del sistema.....	121
4.3.3. Inventario del Ciclo de Vida	122
4.3.4. Evaluación del Impacto	124
4.3.5. Análisis del Ciclo de Vida de la planta de tratamiento propuesta.	129
4.4. Tratamiento de los resultados.....	130
Capítulo 5 - Caso de estudio:Planta Depuradora Bahía Blanca. Descripción, resultados interpretación y discusión.....	133
5.1. Descripción del area de estudio	135

5.2. Descripción de la Planta Depuradora Bahía Blanca	138
5.3. ACV de la Planta Depuradora Bahía Blanca	140
5.3.1. Evaluación del impacto - Interpretación de los resultados.....	140
5.4. Descripción de la planta propuesta y su ACV	147
5.4.1. Línea de aguas	148
5.4.2. Línea de fangos.....	154
5.4.3. Evaluación del Impacto del ACV de la planta de tratamientos propuesta - Interpretación de los resultados.....	155
5.5. Comparación del impacto ambiental de ambas plantas utilizando la técnica del ACV	165
Capítulo 6 - Conclusiones y recomendaciones.....	175
Bibliografía.....	183
Anexos	191
Índice alfabético.....	201

Resumen

La ciudad de Bahía Blanca es una localidad ubicada en el sudoeste de la Provincia de Buenos Aires (República Argentina), sobre la costa del océano Atlántico. La provisión de agua potable para su población ha sido un tema de preocupación debido a una sequía iniciada hace varios años y que afecta la región. Por otra parte, el ambiente marino, principalmente el de su zona costera, se ve afectado por los procesos de degradación generados por el volcado constante de los efluentes descargados por las plantas depuradoras locales, con poco o nulo tratamiento.

En este contexto, se proponen las modificaciones a incorporar a la Planta Depuradora Bahía Blanca para adecuar sus instalaciones de manera que permitan la obtención de aguas con la calidad que requiere el reúso, y mediante la utilización de la técnica del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) determinar si la operación contemplando tales modificaciones, implicarían un impacto ambiental menor del volcado en las actuales condiciones.

A tales efectos, el trabajo se ha estructurado en seis capítulos. A lo largo de ellos se describe el marco teórico, su universo de estudio, el ACV y su marco metodológico, y la aplicación del programa SimaPro para su cálculo. Se realiza una descripción de los métodos de tratamiento de las aguas residuales, mencionando el marco legal de referencia. Se introducen a los conceptos de regeneración, reciclado y reúso de las mismas. Se pormenoriza la Metodología empleada, se describe la Planta Depuradora con que cuenta actualmente la ciudad de Bahía Blanca, efectuándose el ACV en las actuales condiciones, lo que permite posteriormente, evaluar el impacto actual y poder compararlo con el que produciría la planta propuesta. Finalmente, se presentan las conclusiones y se hacen una serie de consideraciones y recomendaciones finales de utilidad.

PALABRAS CLAVE: ACV – SimaPro - Regeneración – Planta Depuradora

Reconocimientos

Deseo expresar mi reconocimiento y especial agradecimiento a mi Directora y Codirectora de Tesis, la Doctora Mónica D. Baldini y la Mg. Ingeniera Olga I. Cifuentes, no solo por su invaluable aporte a partir de su experiencia y conocimientos, sino, principalmente, por su continuo y constante apoyo durante todo este tiempo. Les estaré eternamente agradecido.

Al Dr. Ingeniero Pablo Arena, por su aporte y apoyo en el Análisis del Ciclo de Vida. Sin su ayuda no hubiese podido continuar con el estudio iniciado.

A la Ingeniera Daniela Escudero, por el tiempo que me dedicó ayudándome en la compaginación.

Una especial mención merece PRé Consultants, quien fuera la proveedora en forma gratuita del software (SimaPro 8) mediante el cual efectuare el Análisis del Ciclo de Vida.

A las autoridades de la Universidad Tecnológica Nacional, en especial a la Dirección de la Maestría, tanto de la Facultad Regional Bahía Blanca, como las de la Facultad Regional Buenos Aires, por agilizar los mecanismos que permitieron efectuar mis estudios en ambas regionales.

A mis compañeros de curso, los de aquí y los de allá, por su invaluable aporte a mi formación profesional y personal, permitiendo incorporarme desde un ámbito tan diferente al suyo, e interactuar con profesionales de las más diversas áreas del conocimiento y aplicación. Sin lugar a dudas, el tiempo compartido y su amistad es lo más valioso que me llevo.

Finalmente a mi familia, por su incondicional comprensión y apoyo, sobre todo cuando la duda y desesperanza acechan. Nada de esto podría haber sido posible sin su presencia,

GRACIAS.

Lista de tablas

<i>Tabla 1 – Clasificación de las diferentes categorías de impacto atendiendo al área de protección que corresponden, unidades equivalentes, escala geográfica y obligatoriedad de incluirlas según CML (Anton Vallejo, 2004). (Los sombreados en amarillo fueron los utilizados en el presente trabajo)</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 2 - Factor de caracterización del agotamiento de recursos abióticos, F (TEAM, 1999) y ADF (Guinee, 2001).....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 3 - Factores de caracterización, GWP, en kg CO₂-kg⁻¹, para el cálculo de la categoría de cambio climático (Climate Change), para diferentes gases invernadero y períodos de integración de 20, 100 y 500 años (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007).....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 4 – Potenciales de agotamiento de ozono y potenciales de calentamiento global de diferentes sustancias (World Meteorological Organization, 2010).....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 5 – AP genéricos para la caracterización de la acidificación en función de las emisiones al aire (Guinee et al., 2001b).....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 6 – Valores genéricos de EP para la caracterización de la eutrofización.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 7 – Factores de equivalencia, POCP, g eq. etileno·g⁻¹ en función de la concentración de NO_x en el área de emisión (TEAM, 1999 en Anton Vallejo, 2004).....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 8 – Potencial de Toxicidad de algunas sustancias referidas al compartimiento ambiental al que corresponden y la categoría de impacto asociada (Huijbregts, et al., 2000).</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 9 – Porcentaje de reducción en función del tipo de tratamiento (CENTA, 2008).....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 10 – Parámetros de calidad de las descargas límites por Resolución N° 336/2003 ..</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 11 – Comparación de los límites de descarga para la Ley Provincial N° 11820 y la Res. 336/03 del Directorio de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires a un cuerpo superficial de agua.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 12 – Categorías de utilización de las aguas residuales regeneradas y posibles inconvenientes y limitaciones (Metcalf y Eddy, 2003)</i>	<i>104</i>

<i>Tabla 13 – Resumen de sugerencias de la EPA respecto del reúso del agua (US EPA, 2012)</i>	107
<i>Tabla 14 – Pautas a considerar para el riego en función de la calidad del agua¹ (US EPA, 2012)</i>	109
<i>Tabla 15 – Criterios y recomendaciones respecto a la calidad del agua destinada al riego (US EPA, 2012)</i>	111
<i>Tabla 16 – Recomendación para el vapor de agua a presión (US EPA, 2012)</i>	114
<i>Tabla 17 – Valores medidos a la descarga de la Planta Depuradora Propuesta (Montserrat, V. Uribe Echevarría, M., 2013)</i>	125
<i>Tabla 18 – Valores medidos a la descarga de la Planta Depuradora Bahía Blanca (análisis bacteriológico) (Montserrat, V. y Uribe Echevarría, M., 2013)</i>	127
<i>Tabla 19 – Rendimiento teórico de los procesos de tratamiento</i>	131
<i>Tabla 20 – Caracterización de 1 m³ del efluente descargado</i>	143
<i>Tabla 21 – Análisis normalizado de 1 m³ del efluente descargado</i>	145
<i>Tabla 22 – Parámetros de entrada medidos y de salidas calculados para la planta de tratamiento propuesta (Elaboración propia)</i>	151
<i>Tabla 23 – Detalles del diseño del Sistema de OI desarrollado con CSMPRO 5</i>	154
<i>Tabla 24 – Caracterización del análisis del impacto de 1m³ de efluente regenerado</i>	159
<i>Tabla 25 – Normalización del análisis de impacto de 1 m³ de efluente regenerado</i>	163
<i>Tabla 26 – Resumen de la caracterización de la comparación de ambos procesos</i>	167
<i>Tabla 27 - Resumen de la normalización de la comparación de ambos procesos</i>	169
<i>Tabla 28 - Resumen de la caracterización de la comparación de ambos procesos (Considerando productos evitados)</i>	171
<i>Tabla 29 - Resumen de la normalización de la comparación de ambos procesos (Considerando productos evitados)</i>	173

Lista de figuras/gráficos

<i>Figura 1 - Esquema de los conceptos básicos del ACV (International Organization for Standardization, 2006a).....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 2 - Elementos obligatorios y opcionales del AICV (International Organization for Standardization, 2006a).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3 - Resumen general de la estructura de un método para la determinación de impacto. Es característico de los resultados LCI que producen varios indicadores para categorías de impacto Según ISO, hay que documentar la relevancia ambiental de cada indicador describiendo el vínculo con los puntos finales. Los puntos finales pueden ser seleccionados por el ejecutor, siempre y cuando las razones por incluir o excluir puntos finales sean documentadas claramente (Goedkoop et al., 2013).</i>	<i>47</i>
<i>Figura 4 - Esquema de la clasificación y caracterización en la fase del AICV. Ejemplo para la categoría acidificación (Anton Vallejo, 2004)</i>	<i>47</i>
<i>Figura 5 – Esquema de las relaciones entre intervenciones ambientales, impactos de efectos intermedios (midpoints), impactos de efectos finales (endpoints) y áreas de protección (Goedkoop, et al., 2013).</i>	<i>49</i>
<i>Figura 6 – Esquema de una planta de tratamiento de aguas residuales (Aguas de Galicia, 2012)</i>	<i>79</i>
<i>Figura 7 - Etapas de la línea de agua, ordenadas secuencialmente de izquierda a derecha, en el tratamiento de las aguas residuales (CENTA, 2008).....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 8 – Rejas finas.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 9 – Vista de un desarenador</i>	<i>81</i>
<i>Figura 10 – Decantador primario (CENTA, 2008).....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 11 – Esquema básico del tratamiento secundario (CENTA, 2008)</i>	<i>85</i>
<i>Figura 12 – Calidad de filtrado en función del tamaño del poro de la membrana (TOTAGUA, 2014)</i>	<i>87</i>
<i>Figura 13 – Filtración mediante procesos de membranas (TOTAGUA, 2014).....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 14 – Sistema de ultrafiltración por membrana externa (TOTAGUA, 2014)</i>	<i>88</i>

<i>Figura 15 – Fenómeno de ósmosis inversa ((Saehan Industries, Inc., 2006)</i>	<i>90</i>
<i>Figura 16 – Diagrama de flujo de los procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa</i>	<i>91</i>
<i>Figura 17 – Tratamiento de la línea de lodos (CENTA, 2008)</i>	<i>92</i>
<i>Figura 18 – Centrífuga para deshidratación de fangos (Metcalf y Eddy, 2003).....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 19 – Filtro banda (Metcalf y Eddy, 2003).....</i>	<i>95</i>
<i>Figura 20 – Esquema e imagen planta de compostaje</i>	<i>96</i>
<i>Figura 21 – Localización de la ciudad de Bahía Blanca y su estuario (Elaboración propia)</i> <i>.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 22 – Esquema sistema de desagües de Bahía Blanca (ABSA, 2010).....</i>	<i>137</i>
<i>Figura 23 – Esquema actual sistema de desagües de Bahía Blanca (ABSA, 2010)</i>	<i>138</i>
<i>Figura 24- Ubicación de la Planta Depuradora Bahía Blanca (Elaboración propia).....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 25 – Sistema de rejas y pozo de bombeo Depuradora Bahía Blanca (ABSA, 2010)</i>	<i>140</i>
<i>Figura 26 – Gráfico correspondiente a la caracterización del proceso de 1 m³ de efluente</i> <i>descargado</i>	<i>144</i>
<i>Figura 27 – Gráfico correspondiente a la normalización del proceso de 1 m³ de efluente</i> <i>descargado</i>	<i>146</i>
<i>Figura 28 – Esquema de la planta de tratamientos propuesta.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 29 – Decantador primario.....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 30 – Reactor biológico (Metcalf y Eddy, 2003).....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 31 – Esquema de tratamiento terciario propuesto.....</i>	<i>150</i>
<i>Figura 32 – Esquema de diseño del sistema de tratamiento de OI con CMSPRO 5.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 33 - Espesador.....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 34 – Gráfico en red de interrelaciones en el proceso de regeneración de agua</i> <i>producido en la planta de tratamiento propuesta (24 de 1594 nodos. Análisis efectuado con</i> <i>SimaPro 8.02).....</i>	<i>157</i>
<i>Figura 35 – Caracterización de 1 m³ de agua regenerada producida en la planta de</i> <i>tratamiento propuesta</i>	<i>160</i>
<i>Figura 36 - Normalización del impacto de 1 m³ de agua regenerada</i>	<i>164</i>
<i>Figura 37 – Caracterización de la comparación de ambos procesos</i>	<i>168</i>
<i>Figura 38 – Normalización de la comparación de ambos procesos.....</i>	<i>170</i>

Figura 39 - Caracterización de la comparación de ambos procesos (considerando productos evitados)..... 172

Figura 40 – Normalización de la comparación de ambos procesos (considerando productos evitados)..... 174

Glosario y abreviaturas

ABSA: Aguas Bonaerenses Sociedad Anónima.

ACV (ó LCA): Análisis de Ciclo de Vida. (LCA por sus siglas en inglés, “Life Cycle Analysis”). Metodología permite identificar la distribución de las cargas aplicadas al medio ambiente por un producto, a lo largo de su vida útil, desde la obtención de los recursos para su fabricación, hasta su desecho como residuo (Goedkoop, *et al.*, 2013).

ADF: Factor de Agotamiento Abiótico (por sus siglas en inglés “Abiotic Depletion Factor”). Valor de AR expresado en kg equivalentes de antimonio, recurso que se utiliza como referencia (Guinee, *et al.*, 2001a).

Aguas de proceso: aguas que sirven en cualquier nivel del proceso de fabricación de un producto (Sartor y Cifuentes, 2012).

Aguas depuradas: aquellos efluentes que han sido sometidos a un tratamiento que les permite alcanzar parámetros de vuelco establecidos por la normativa correspondiente (Sartor y Cifuentes, 2012).

Aguas recicladas: aguas utilizadas más de una vez en el mismo lugar antes de ser vertidas al ciclo hídrico (Sartor y Cifuentes, 2012).

Aguas regeneradas: aguas residuales depuradas que han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan (Sartor y Cifuentes, 2012).

Aguas residuales: aquellos efluentes del sistema cloacal urbano o de sistemas productivos sin tratamiento previo (Sartor y Cifuentes, 2012).

Aguas reutilizadas: aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida para un nuevo uso privativo, en función de los usos a que se van a destinar antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre (Metcalf y Eddy, 2003).

Agua reciclada: agua regenerada que ha sido usada en forma benéfica. El término es utilizado como sinónimo de agua regenerada (Metcalf y Eddy, 2003).

AICV (Análisis de Impacto del Ciclo de Vida): fase del ACV dirigida a entender y evaluar la magnitud y el significado de los impactos potenciales para el medio ambiente de un sistema producto. Asimismo detalla su estructura y distingue dentro de ella cuales serán elementos obligatorios y elementos opcionales a considerar. También se lo llama EICV (Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida). (International Organization for Standardization, 2006a).

AP (Acidification Potential): es el potencial de acidificación de una sustancia *i* (expresado en kg equivalentes de SO₂) emitida al aire (Guinee, et al., 2001b).

AR (Agotamiento de los Recursos): relación entre la cantidad de un recurso usado y la total de su reserva (Guinee, et al., 2001a).

BUWAL: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. También FOEFL Federal Office of Environment, Forest and Landscape. Oficina federal del medio ambiente de Suiza.

CAS number (número CAS): el número de registro CAS es una identificación numérica única para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones. Llamado también CAS RN (en inglés CAS Registry Number). Chemical Abstracts Service (CAS), es una división de la Sociedad

Americana de Química, la que asigna estos identificadores a cada compuesto químico que ha sido descrito en la literatura. CAS también mantiene una base de datos de los compuestos químicos, conocida como registro CAS.

CFC-11: los clorofluorocarburos (CFC o ClFC) son derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de flúor y/o cloro principalmente. Son compuestos utilizados, en estado gaseoso, como refrigerantes. También se los utiliza, en su estado líquido, como constituyentes de aislantes térmicos. El compuesto CFCl_3 , llamado CFC-11, es un líquido que hierve a temperatura cercana a la ambiental. El CFC-11 se utilizó para formar agujeros en productos de espuma blanda, como almohadas, alfombras acolchadas, cojines y asientos y rellenos en coches. Este compuesto también ha sido aplicado para hacer productos de espumas de uretano rígido usados como aislantes en neveras, congeladores y en algunos edificios. Se ha demostrado que los CFC atacan la capa de ozono mediante una reacción fotoquímica: al incidir la luz sobre la molécula de CFC, se libera un átomo de cloro con un electrón libre, denominado radical cloro, muy reactivo y con gran afinidad por el ozono, que rompe la molécula de este último. Algunos alegan que CFC permanece durante más de cien años en las capas altas de la atmósfera (Huijbregts, et al., 2000).

Ciclo de vida: etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final (International Organization for Standardization, 2006a).

CML: Center of Environmental Science of Leiden University

CTE (Comité Técnico Ejecutivo): ente conformado por un grupo de profesionales de diferentes especialidades, que tienen a su cargo el control y monitoreo de las industrias de 3ª categoría (conf. Ley 11459) instaladas en el

sector del Polo Petroquímico y área portuaria (en el sector del estuario) de Bahía Blanca, creado bajo el amparo de la ley 12530.

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles, VOC por sus siglas en inglés.

DBO₅ (Demanda Biológica de Oxígeno): representa la fracción orgánica biodegradable presente en el agua residual, y es una medida del oxígeno disuelto necesario por los microorganismos para consumir la materia orgánica en 5 días y a 20 °C, medido en mg/L (Metcalf y Eddy, 2003).

DQO (Demanda Química de Oxígeno): mide la fracción de materia orgánica que es oxidada químicamente al utilizar un agente oxidante fuerte (dicromato de potasio). También se mide por la cantidad estequiométrica de oxígeno disuelto necesario, en mg/L. Este parámetro suele ser superior a la DBO₅ al ser mayor el número de compuestos que se pueden oxidar químicamente que por vía biológica (Metcalf y Eddy, 2003).

Eco-Indicator '99: indicador ambiental, desarrollado por la consultora PRé (los autores de SimaPro®) para el gobierno holandés (Goedkoop & Spriensma, 2001).

EDAR: Estación Depuradora de Aguas Residuales.

EPS (Environmental Priority Strategies): el Sistema de Prioridad Ambiental (EPS por sus siglas en inglés) es un método de evaluación de ACV diseñado por Bengt Steen (IVL - Instituto de Investigación Ambiental de Suecia) y Sven-Olof Ryding (Asociación de la Industria de Suecia) y que fuera publicado en 1990.

FAETP (Fresh water Aquatic EcoToxicity Potential): sigla en inglés para "Potencial de Toxicidad del Agua Superficial Dulce".

FAETP_{ecom,i}: factor de caracterización de la sustancia *i*, emitida al compartimiento ambiental *ecom* (aire, aguas superficiales, aguas marinas, suelo agrícola y suelo industrial)

Floculo: del latín flocculus, copo pequeño.

Gate to gate (de puerta a puerta): expresión que hace referencia al ciclo de vida de un producto, en el cual se incluye desde su llegada a las instalaciones hasta su salida, sin tener en cuenta etapas anteriores o posteriores.

GW (Global Warming): fenómeno mediante el cual algunos gases que conforman la atmósfera terrestre retienen parte de la energía liberada por el planeta y que es producto del calentamiento a causa de la radiación solar.

GWP (Global Warming Potential): valor de caracterización del efecto invernadero. Este índice es empleado para el cálculo de dicho efecto. Expresa la contribución integrada en el tiempo de un kilogramo de gas en relación a la contribución de un kilogramo de CO₂.

HE (Habitantes equivalentes): el concepto de HE está recogido en la Directiva Europea 91/271 de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. En ella se define habitante equivalente como la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días (DBOs) de 60 g de oxígeno por día.

HFCs: compuestos hidrofluorcarbonados

HTP (Human Toxicity Potential): Potencial de Toxicidad Humana

ICV (Análisis del Inventario del Ciclo de Vida): fase de la evaluación del ciclo de vida que incluye la compilación y la cuantificación de las entradas salidas, para determinado sistema de producto a lo largo de su ciclo de vida (International Organization for Standardization, 2006a).

IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis): fundado en 1972, el Instituto Internacional para el Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) lleva a cabo investigaciones de política general en los problemas de carácter

mundial que son demasiado grandes o demasiado complejos para ser resueltos por un solo país o disciplina académica.

Impacto ambiental: alteración apreciable sobre la salud y bienestar de cualquier ser vivo o sobre el medio ambiente (Vega Rodriguez, 2010).

Infraestructura de almacenamiento y distribución de agua regenerada: constituye el conjunto de instalaciones que desde el punto de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales, transporta, almacena y distribuye el agua regenerada hasta sus puntos de entrega para su reutilización (Sartor & Cifuentes, 2012).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): sigla en inglés para “Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático”

ISO (International Standard Organization): siglas en inglés para “Organización Internacional de Estándares”.

LCA (Life Cycle Assessment): siglas en inglés para Análisis de Ciclo de Vida

LCI (Life cycle inventory analysis): siglas en inglés para Análisis del Inventario del Ciclo de Vida. Fase del ACV que implica la recopilación y cuantificación de las entradas y salidas de un producto durante su ciclo de vida

MAETP (Marine Aquatic EcoToxicity Potential): siglas en inglés para “Potencial de Toxicidad del Agua de Mar”.

Nitrógeno total Kjeldahl: es un indicador utilizado en ingeniería ambiental. Refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas (proteínas y ácidos nucleicos en diversos estados de degradación, urea, aminas, etc.) y el ión amonio NH_4^+ . También se utiliza para determinar proteínas en alimentos. Es un parámetro importante en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) ya que mide el

nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y, posteriormente y en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso. No incluye, por tanto, los nitratos ni los nitritos (Vega Rodríguez, 2010).

ODP (Ozone Depletion Potential): siglas en inglés para “Potencial de Agotamiento de Ozono”

OI (Ósmosis Inversa): ó RO (Reverse Osmosis) por sus siglas en inglés

OTSG (Once-through steam generators): siglas en inglés para un tipo especializado de caldera con recuperación de calor denominada generador de vapor de un solo paso (OTSG por sus siglas en inglés) (TIW WESTERN Inc., 2014).

POCP (Photo-chemical Ozone Creation Potentials): factor de caracterización para el cálculo del indicador de formación de foto-oxidantes.

PSIG: medida de la presión manométrica en la unidad de libra por pulgada cuadrada.

RAINS (Regional Air Pollution Information and Simulation): RAINS es un modelo integrado de evaluación, que se utilizó para las negociaciones para el “Segundo Protocolo del Azufre” en el marco del “Convenio sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza”. El modelo RAINS combina información sobre los niveles actuales y futuros de la actividad económica y el consumo de energía con inventarios de las opciones de control de emisiones disponibles y una evaluación de sus costos. Basado en la información de estrategias nacionales de control de emisiones del modelo pronostica los niveles de emisiones futuras de dióxido de azufre, óxido de nitrógeno, amoníaco y compuestos orgánicos volátiles. (IIASA, 2004)

Reúso directo: forma de reutilización del agua regenerada tal y como ha sido transportada desde la planta de tratamiento al sitio donde se la reutilizará, sin

haber sido descargada a ningún cuerpo receptor. Su uso incluye su aplicación en riego agrario, parques y jardines (Anton Vallejo, 2004).

Reúso indirecto: uso del agua regenerada de forma indirecta por haber sido incorporada a un cuerpo natural de agua (superficial o subterráneo) que ha sido recargado con aportes de agua recuperada (Anton Vallejo, 2004).

Reúso planificado: uso deliberado, directo o indirecto del agua regenerada, manteniendo continuamente su control durante su distribución (Anton Vallejo, 2004).

Reúso potable del agua: aumento de la capacidad de distribución de agua potable en forma directa o indirecta por la incorporación de agua regenerada (Anton Vallejo, 2004).

Reúso potable directo: forma de reúso que consiste en la incorporación de agua regenerada directamente en el sistema de distribución de agua corriente, generalmente empleando la mezcla de dicha agua con el agua potable de red (Anton Vallejo, 2004).

Reúso potable en forma indirecta: reúso del agua regenerada con fines potables por su incorporación en los reservorios de agua (superficiales o subterráneos), permitiendo su mezcla y asimilación con estos cuerpos naturales de agua (Anton Vallejo, 2004).

Reutilización o reúso de aguas residuales tratadas: aplicación, antes de su vuelco al sistema hidráulico o a cuerpos receptores finales para un nuevo uso, de las aguas residuales que se han sometido a procesos de depuración o tratamiento, alcanzando los parámetros establecidos en los estándares de vuelco de la normativa y los necesarios para cumplir con las condiciones requeridas en función al destino en las que se van a utilizar (Sartor & Cifuentes, 2012).

Regeneración del agua: tratamiento o proceso aplicado al agua residual para lograr su regeneración. Esta definición puede incluir la distribución del agua regenerada para su utilización.

Reciclado del agua: uso del agua que es recolectada y redirigida al inicio del proceso del cual forma parte. El reciclado es aplicado principalmente en la industria, y es utilizada en el mismo complejo industrial y siempre en el mismo circuito.

Reúso del agua: uso del agua residual tratada para un uso benéfico, tal como la agricultura, riego e industria (principalmente en enfriadores)

SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry): sociedad de toxicología y química sin ánimo de lucro, que la constituyen personas e instituciones del todo el mundo y que vela por el estudio, análisis y búsqueda de soluciones de problemas ambientales, por la gestión y regulación de los recursos naturales, por la educación ambiental y por la investigación y el desarrollo.

Sistema de reutilización de las aguas: conjunto de instalaciones para realizar los procesos de regeneración de aguas, almacenamiento y distribución para su reutilización según el uso al que este destinada (Sartor y Cifuentes, 2012).

TETP (Terrestrial EcoToxicity Potential): siglas en inglés para el “Factor de Toxicidad Terrestre”.

Tiempo de residencia celular: se define como el tiempo que la biomasa se mantiene en el reactor.

Unidad funcional: unidad de referencia que representa la funcionalidad del sistema y sobre la cual todas las entradas y salidas de los sistemas están referenciadas.

USES-LCA (Uniform System for the Evaluation of Substances): el “Sistema Uniforme para la Evaluación de Sustancias adaptados para fines del Análisis de Ciclo de Vida” (USES-LCA, por sus siglas en inglés), es un modelo destino multimedia que se utiliza para el cálculo de indicadores de toxicidad para la evaluación del impacto del ciclo de vida. El sistema utiliza un modelo informático aplicable al cálculo de riesgo en la Unión Europea. El modelo calcula los factores de caracterización para determinar la ecotoxicidad y toxicidad humana tanto en el punto medio como en el nivel extremo. Para la toxicidad humana, se utilizan factores los de caracterización de los agentes carcinógenos, los no carcinógenos, y los factores generales de caracterización. En cuanto a los factores de caracterización ecotoxicológicos, están agrupados en terrestres, para agua dulce y para ecosistemas marinos, con una base de datos de 3396 sustancias químicas (Netherlands Center for Environmental Modeling, 2014).

Uso benéfico: son los diferentes modos en que el agua puede ser utilizada, ya sea en forma directa por las personas o cualquier otro uso benéfico, por ejemplo, agua corriente de uso doméstico o recreacional, uso agrario e industrial, entre otros.

VOCs (Volatile Organic Compounds): por su sigla en inglés “Compuestos Orgánicos Volátiles”.

WMO (World Meteorological Organization): siglas en inglés para “Organización Meteorológica Internacional”

Zonas anóxicas: zonas con ausencia total de oxígeno.

Introducción

La provisión de agua segura para la población es un tema de interés y preocupación creciente en el mundo. En el caso particular de la ciudad de Bahía Blanca (cabecera del Partido del mismo nombre, en la Provincia de Buenos Aires, República Argentina), la problemática se ve acrecentada por una sequía iniciada hace varios años y que afecta al sudoeste de la provincia. Tal situación pone en riesgo su principal fuente de agua (el Embalse y Dique Paso de las Piedras) con que se abastece a la ciudad, junto con Punta Alta (perteneciente al Partido de Coronel de Marina Leonardo Rosales).

Por otra parte, el ambiente marino – y en particular su Zona Costera – presenta un alto nivel de complejidad, alberga diferentes hábitats y sostiene una enorme biodiversidad. Provee, además, de una gran cantidad de bienes y servicios a la comunidad, los que deberían ser explotados de manera sustentable. Sin embargo, esos ambientes costeros (especialmente el estuario de Bahía Blanca) reciben impactos negativos de gran relevancia, dentro de los cuales se incluyen modificaciones en sus condiciones físicas y químicas, destrucción parcial o total de hábitats o cambios en su biodiversidad (Halpern, *et al.*, 2007,2008).

Entre los procesos de degradación mencionados merece particular atención el que se genera como consecuencia del volcado creciente y constante de efluentes domiciliarios que salen del tratamiento preliminar. Asimismo, los progresivos niveles de contaminación de estuarios y bahías constituyen un riesgo creciente para la salud pública, siendo claros indicadores de los costos que debe afrontar un país a causa de la contaminación costera. (Cabezali *et al.*, 2004)

En este contexto, cobra especial interés la posibilidad del tratamiento de los efluentes cloacales producidos en Bahía Blanca para su reutilización, por dos razones: 1) La presión de consumo ejercida sobre el Dique Paso de las

Piedras sería mucho menor, puesto que un importante volumen de agua para fines diversos (actividades industriales, riego, etc.), sería satisfecho con agua recuperada. De esta forma, habría mayor oferta de agua potable para la población; 2) Mejorarían las condiciones ambientales en el estuario, al evitarse el volcado de efluentes contaminados, favoreciendo la salud pública, las actividades recreativas, la pesca, entre otros.

Si bien la reutilización de agua regenerada puede ser una, sino la mejor solución a los problemas de suministro de agua, son pocos los países en los que este tipo de tecnología está implementada. Tal es el caso de varios estados europeos, que soportan períodos de sequía, que se profundizan con el correr del tiempo. No obstante ello, tienen dificultades para implementar sistemas que le permitan la regeneración del agua en sus plantas de tratamiento, o Estaciones Depuradoras de Agua Residual (EDAR) (Meneses *et al.*, 2010).

Dichas dificultades no son solo de orden técnico. En la mayoría de los casos, la principal oposición a la reutilización del agua regenerada es de tipo social (Meneses *et al.*, 2010), debido al riesgo que implica para la salud o el ambiente, la posible persistencia de contaminantes en el agua.

Ante esta situación particular, surge la idea del presente estudio, que se propone investigar y comparar los beneficios, desde el punto de vista ambiental, de la regeneración y reutilización de los efluentes cloacales producidos en la cuenca Grande de Bahía Blanca y volcados al estuario a través de la Planta Depuradora Bahía Blanca, respecto a las condiciones actuales de descarga. Cabe mencionar que el uso principal para el cual estaría destinada el agua regenerada sería, en principio, cubrir la demanda de las industrias instaladas en el Polo Petroquímico. El excedente, de haberlo, y teniendo en cuenta la calidad del agua obtenida, sería destinado al riego.

Partiendo de esta idea surge la necesidad de analizar las prestaciones que debe poseer el sistema de regeneración de agua a acoplar a la Planta Depuradora Bahía Blanca.

Para cumplir con estas premisas se planteó el uso de una herramienta informática que aplica el método del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) al sistema de tratamientos de efluentes cloacales de la Planta Depuradora Bahía Blanca, con la finalidad de determinar el impacto que el sistema imprime al medioambiente.

Dicha herramienta, denominada SimaPró 8¹, de la firma holandesa PRÉ Consultants, permite efectuar la evaluación de impacto del sistema en estudio, aplicando diferentes métodos. También admite utilizar procesos almacenados en sus bases de datos, modificarlos y adaptarlos a las tecnologías empleadas en el propio, como así también al área geográfica que corresponda.

El análisis comprende el sistema completo, desde su ingreso a la planta hasta la finalización del ciclo, con el vuelco en el estuario. También incluye la caracterización de los efluentes, una evaluación del impacto que genera el proceso y una interpretación de los resultados obtenidos.

Utilizando la misma técnica, y luego de aplicar las modificaciones tendientes a producir efluentes de la calidad requerida para su reúso, se evalúa el impacto ambiental ocasionado en la nueva configuración de la planta.

Es en el marco descripto precedentemente que se inscribe la presente investigación, pretendiendo generar una herramienta técnica de apoyo a la gestión del agua en Bahía Blanca, que contribuya a la utilización sustentable del recurso.

A partir de lo enunciado surge la hipótesis que orienta la presente investigación, mediante la cual se plantea que *“la posibilidad de tratamiento y reutilización de las aguas residuales para un uso industrial, y eventualmente el riego, sería un paliativo para dos problemas de particular interés en Bahía Blanca. Por un lado disminuir la presión de consumo sobre el Dique Paso de las Piedras y por el otro*

¹ SimaPro 8, en su versión 8.0.4 Faculty, con licencia temporaria con fecha de caducidad del 19 de mayo de 2015, registrado bajo el nombre de FFL UTN-FRBB. Todos los derechos reservados para PRÉ Consultants

reducir el volcado constante y creciente de contaminantes orgánicos, metales y de microorganismos potencialmente patógenos, que pueden poner en crisis el funcionamiento de tramas tróficas estuariales”.

La estrategia metodológica se basa en el análisis de fuentes primarias, secundarias y la corrida de un modelo informático de Análisis de Ciclo de Vida. Se apoya en la investigación bibliográfica respecto de métodos aplicados en otras regiones, adaptándolos a las necesidades y características propias del entorno bahiense. Junto a ello, y para sostener la investigación, se analiza la calidad del efluente a la entrada y salida de la planta de tratamientos en cuanto a su composición química y microbiológica, como así también la que corresponde al agua regenerada con fines comparativos.

Para demostrar la hipótesis, surge el objetivo general que orienta la investigación, mediante el cual se propone *“determinar los beneficios de la reutilización de los efluentes cloacales regenerados producidos en Bahía Blanca y descargados en las aguas costeras”.*

Apoyando dicho objetivo, y coadyuvando con la demostración de la hipótesis, nacen los siguientes objetivos particulares:

- Describir el proceso aplicado a los efluentes cloacales en la Planta Depuradora Bahía Blanca.
- Proponer las modificaciones a incorporar a la planta, para adecuar sus instalaciones de manera que permita la obtención de agua con la calidad que requiere el reúso, tanto para su aplicación industrial como para el riego.
- Comparar, mediante la técnica del “Análisis del Ciclo de Vida”, el impacto ambiental generado por la descarga de los efluentes cloacales en las condiciones actuales respecto al que se generaría una vez efectuadas las modificaciones propuestas.

- Generar una propuesta de reutilización de las aguas provenientes de la regeneración de los efluentes cloacales provenientes de la Planta Depuradora Bahía Blanca, como una herramienta de apoyo a la gestión de los recursos hídricos.

Efectuado el análisis de los resultados obtenidos, se confeccionan las conclusiones y recomendaciones que surgen, completando, de esta manera, los alcances propuestos para la presente investigación.

Capítulo 1

Análisis del Ciclo de Vida

1.1. GENERALIDADES

En la actualidad, una de las técnicas de mayor difusión para la protección ambiental y la evaluación de los posibles impactos asociados a la fabricación, producción y consumo de productos y servicios es la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV o LCA por sus siglas en inglés, Life Cycle Analysis) (Goedkoop, *et al.*, 2013).

Esta metodología permite identificar la distribución de las cargas aplicadas al medio ambiente por un producto, a lo largo de su vida útil, desde la obtención de los recursos para su fabricación, hasta su desecho como residuo. Es decir, permite identificar y cuantificar los recursos utilizados, la energía empleada y los desechos generados y vertidos, pudiendo determinar, de esta manera, el impacto que genera en el medio ambiente.

En resumen, el ACV consiste en la elaboración de un inventario ambiental mediante el cual se cuantifican y cargan a un determinado producto los efectos ambientales adversos generados a lo largo de su ciclo de vida.

Mediante esta técnica, y como se explica en detalle más adelante, los efectos o impactos ambientales se agrupan en diferentes categorías, como la explotación y utilización de recursos naturales, la salud humana y el impacto sobre los ecosistemas.

Dada la complejidad que conlleva la elaboración de un ACV, se consideró conveniente adaptarlo a una serie de protocolos.

La responsable de recopilar y codificar las técnicas del ACV fue la Organización Internacional de Estandarización (International Organization for Standardization), quien plasmó los protocolos de elaboración en una serie de normas, que se conocen como Serie ISO 14040. A nivel nacional, el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) las tradujo bajo la denominación de normas ISO-IRAM.

La importancia de apoyarse en los estándares ISO para la confección de un ACV radica en la necesidad de documentar cuidadosamente el objetivo y el campo de aplicación, así como los resultados y su interpretación. No obstante ello, se pueden implementar otras alternativas para confeccionar un ACV, siempre y cuando se documente cuidadosamente lo que se está haciendo.

Son dos las normas que se utilizan para la confección de un ACV completo:

- ISO-IRAM 14040:2006: Gestión Ambiental - Análisis del Ciclo de Vida: Principios y Marco de referencia.

Esta norma describe los principios y el marco de referencia para la elaboración de un Análisis de Ciclo de Vida. La norma incluye las definiciones de Objetivos y Alcances del Análisis del Ciclo de Vida, las fases de Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (AICV), de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida y de interpretación del Ciclo de Vida.

- ISO-IRAM 14044:2006: Gestión Ambiental - Análisis del Ciclo de Vida: Requisitos y Directrices.

Establece los requisitos y provee las directrices para la elaboración del ACV, incluyendo las definiciones de Objetivos y Alcances. Para ello incorpora una guía de la estructura general del AICV, especificando los requerimientos para llevarlo a cabo y su relación con otras fases del ACV. Asimismo proporciona las recomendaciones para la realización de la Fase de Interpretación del ACV.

Las dos normas citadas precedentemente reemplazan a las normas IRAM-ISO 14040: 1998; IRAM-ISO 14041:1999; IRAM-ISO 14042:2000 y IRAM-ISO 14043:2000.

Si bien la codificación de las técnicas del ACV volcadas en los estándares ISO abarcan todas las etapas del análisis, los mismos son definidos en un lenguaje bastante impreciso lo que dificulta determinar fehacientemente si un ACV fue llevado a cabo según la norma (PRé Consultants, 2010).

Esto implica que, al contrario de lo que ocurre con la Serie 14000 de las ISO, no es posible obtener una acreditación oficial que manifieste que un ACV, una metodología ACV o software ACV hayan sido elaborados según el estándar.

Como consecuencia, ningún software puede asegurar que los ACVs confeccionados, utilizándolos como herramienta automática de elaboración, cumplan con los estándares.

Un ejemplo de ello, es el hecho de que la ISO 14044 no permite ponderar categorías de impacto para comparaciones públicas entre productos. Sin embargo, la ponderación se permite expresamente para otras aplicaciones. Esto trae aparejado que la responsabilidad de hacer un uso adecuado de la ponderación cae en quien elabora el ACV. Ejemplos similares se pueden dar para temas como reglas de asignación, límites del sistema, etc. (PRé Consultants, 2010).

1.2. METODOLOGÍA DEL ACV

La Norma ISO 14040 establece que un estudio ACV consta de cuatro pasos (Figura 1):

1. Definir el objetivo y alcances del estudio.

2. Recopilar todas las entradas y salidas ambientales del sistema. Esta etapa del estudio se llama Inventario del Ciclo de Vida (ICV, o LCI, por sus siglas en inglés).
3. Determinar la relevancia ambiental de todas las entradas y salidas. Esta etapa del estudio se denomina Análisis (o Evaluación, según la bibliografía) del Impacto del Ciclo de Vida (AICV).
4. Interpretar los resultados del estudio.

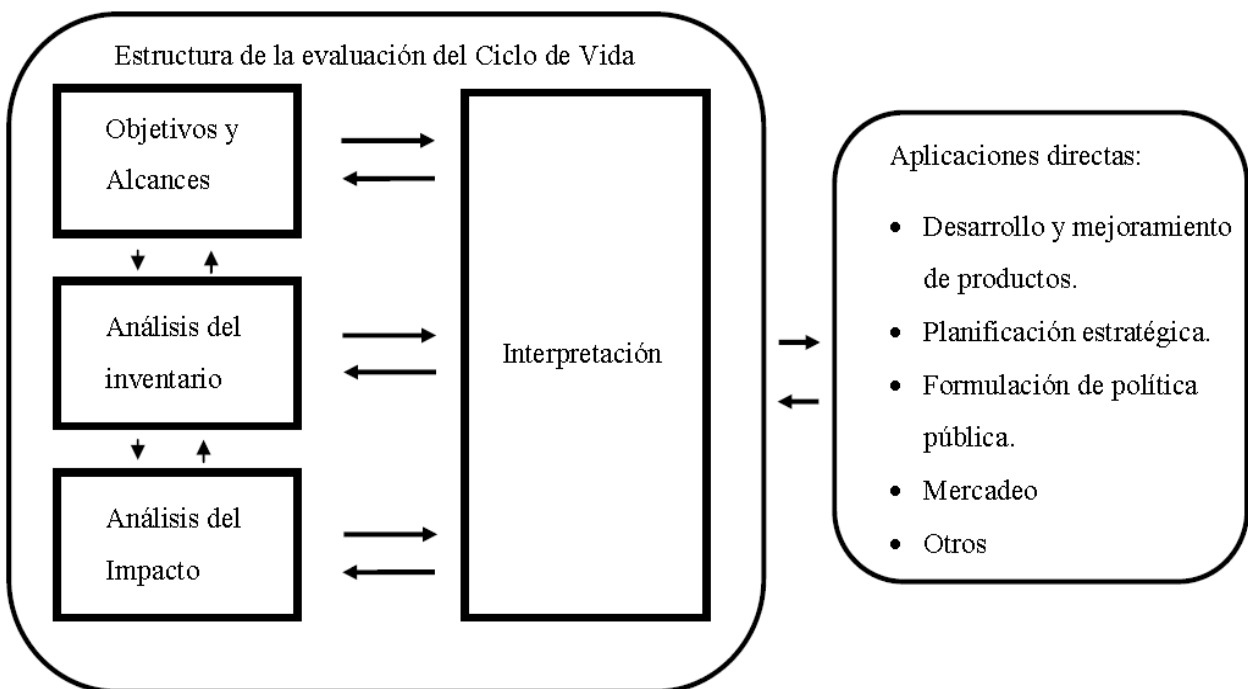


Figura 1 - Esquema de los conceptos básicos del ACV (International Organization for Standardization, 2006a)

Un ACV consiste, básicamente, en la creación de modelos. En principio, el modelo elaborado es el que sintetiza todas las fases de un producto, es decir, todas aquellas acciones que se desarrollan para producir, transportar, usar y eliminar un producto. El resultado de ello es un diagrama de flujo con todos los procesos de relevancia que intervienen en el proceso completo. Por cada uno de ellos se recopilan las entradas y salidas. El resultado es una lista o inventario con todas las entradas y salidas del sistema, cuya interpretación, en muchos casos es muy compleja (Goedkoop *et al.*, 2013).

Durante la etapa de la evaluación del impacto en el ciclo de vida, se utiliza un modelo de un mecanismo ambiental para representar la relevancia de cada una de las entradas y salidas. Para servir de ejemplo, se puede nombrar el de la emisión de dióxido de azufre, la que podría ocasionar un aumento en la acidez. Este incremento en la acidez originaría cambios en las características de los suelos, produciendo, entre otras cosas, pérdidas en la vegetación, etc. De la interacción de varios de estos mecanismos ambientales surge que el resultado del ICV puede ser trasladado a alguna categoría de impacto, como son la acidificación, uso del suelo, ecotoxicidad, etc.

La etapa más controversial es la de la interpretación. Para ello se deben ponderar las categorías de impacto, determinando cual será la influencia ambiental del sistema. Es justamente allí donde radica lo conflictivo de la interpretación, por cuanto la ponderación es un tema subjetivo (Goedkoop, *et al.*, 2013). No obstante, hay varias técnicas para limitar su subjetividad y proporcionar al estudio la objetividad necesaria para que adquiriera carácter científico.

1.2.1. Definición de Objetivo y Alcances. La unidad funcional

Cuando se trabaja con modelos se debe comprender que no son una fotografía de la realidad sino que representan una simplificación de ella. Esto significa que se la alterará o modificará de alguna forma. Para ello, es deber de quien efectúa un ACV desarrollar un modelo de tal forma que las simplificaciones y las adecuaciones relacionadas no influyan de manera relevante en el resultado (Goedkoop *et al.*, 2013).

Para asegurar la consistencia del trabajo se deben definir previamente y en forma cuidadosa un Objetivo y sus Alcances ó Campo de Aplicación del estudio de ACV. En este sentido, tales definiciones no deben ser usadas como un documento estático. Muy por el contrario, el ACV es una técnica iterativa, pudiendo introducir ajustes si se aprecia que las selecciones iniciales en cuanto

a los alcances y límites del sistema no son óptimas, practicables o se reúne información adicional que modifica dichos límites. No obstante ello, tales adaptaciones deben llevarse a cabo en forma consciente y cuidadosa (International Organization for Standardization, 2006a).

En cuanto al Objetivo, la Norma ISO 14040 determina algunos requisitos particulares con respecto a su definición:

- La aplicación y las audiencias proyectadas deben ser definidas en forma precisa. Esto es de gran relevancia puesto que un estudio de aplicación interna, que tiene la intención de suministrar datos podrá ser estructurado de una forma bastante diferente en comparación con un estudio cuya finalidad es efectuar comparaciones públicas entre dos productos. En éste último caso será necesario un proceso de revisión por parte de las partes interesadas.
- Las razones para la ejecución del estudio deberán ser expresadas con claridad, en cuanto a si la intención del estudio es una comprobación o si solo se pretende suministrar información, etc. En éste sentido, algunos ACV persiguen más de un propósito, pudiendo utilizar sus resultados en forma interna o externa. En este caso se deberá señalar expresamente tal situación, puesto que podrían utilizarse diferentes métodos de determinación de impactos en ambos casos.

Respecto del alcance, y teniendo en cuenta que un estudio de esta naturaleza puede ser muy extenso, se deben establecer los límites que enmarquen el sistema a estudiar, determinando los procesos unitarios incluidos dentro del ACV.

Varios son los factores que pueden influir en la determinación de los límites del sistema: la finalidad del estudio (objetivos a alcanzar); extensión, profundidad y detalle del mismo; las hipótesis planteadas; los criterios de exclusión; los datos; las suposiciones; las limitaciones económicas; entre otras.

Deben tenerse en cuenta los límites temporales (si el análisis es retrospectivo, presente o prospectivo), geográficos (área a la que se limita el estudio), entre la tecnosfera y el sistema natural y por último, límites dentro del mismo sistema tecnológico. En ese sentido, y como se indicó precedentemente, el carácter iterativo del procedimiento, hace que las selecciones y requisitos iniciales puedan ser adaptados con posterioridad en función de la información disponible.

En resumen, el alcance debe ser definido de manera tal que asegure que la extensión, profundidad y detalle del estudio sean compatibles y suficientes para cumplir con el objetivo previsto para el trabajo.

Esto se verifica, inicialmente, determinando en forma precisa la finalidad del sistema analizado. A tal efecto se establece una Unidad Funcional, la que aporta una medida del comportamiento del sistema en función de dicha unidad y proporciona una clara referencia mediante la cual se relacionan sus entradas y las salidas (International Organization for Standardization, 2006a).

Nótese que su definición es imprescindible, pues asegura la compatibilidad de los resultados del ACV, permitiendo compararlos, en especial cuando se evalúan sistemas diferentes, de manera de tener la seguridad de que tales comparaciones se hacen sobre una base común. En tal sentido, es preciso remarcar que un ACV no compara productos entre sí, sino servicios y/o cantidades de producto que tengan la misma función. Por ejemplo, si la función del sistema es “secar manos”, se pueden comparar un secamanos eléctrico con toallas de papel. Aquí, la “unidad funcional” será expresada en términos de la “cantidad de pares de manos secadas por ambos sistemas”. Así, se podrán comparar la cantidad de papel necesaria y la de la masa de aire caliente a generar para secar la cantidad de manos especificada en la unidad funcional (International Organization for Standardization, 2006a).

En el caso de la presente investigación, debe tenerse en cuenta que la función principal de una planta de tratamiento de aguas residuales es la reducción de la carga orgánica, nitratos y fosfatos, metales y la eliminación de microorganismos potencialmente peligrosos. Es por ello que los primeros ACV orientados en este sentido, seleccionaban como unidad funcional una cantidad de agua residual tratada durante un período de tiempo, por ejemplo, 100 m³ de agua por día. El inconveniente de este tipo de selección es que no cumple con la definición de unidad funcional. Cuando la carga inicial difiere, la comparación no es adecuada. Por esto, en la actualidad, para los estudios de este tipo se selecciona como unidad funcional el habitante equivalente (H.E.).

No obstante, en el presente trabajo se utiliza como unidad funcional el metro cúbico de agua por día, ya que se considera que la carga orgánica inicial es idéntica. Esto es así porque el objeto de estudio es el impacto de la planta en la situación actual respecto de otra que tenga el mismo ingreso pero que efectúe un tratamiento que permita su reúso.

1.2.2. Análisis del Inventario

La tarea más exigente para la elaboración de un ACV es la recolección de datos para la confección del inventario. Se debe tener en cuenta que, independientemente de los datos que se poseen, la información respecto de algunos procesos o materiales no está disponible, o de haberla, no es representativa. La estrategia para la recopilación de datos dependerá del tiempo y presupuesto que se dispone.

Existen dos tipos de datos:

- Datos de primer plano
- Datos de fondo

Los primeros están referidos a datos muy específicos que se necesitan para diagramar el sistema. Por lo general se trata de aquellos que describen en forma particular al sistema que se pretende analizar.

Por otro lado, los datos de fondo son aquellos para materiales generales, energía, transporte, etc. La literatura y las bases de datos son buenas herramientas para localizar este tipo de información.

Si bien la distinción entre ambos no es muy exacta, por lo general dependerá del tipo de ACV que se pretende elaborar. Por ejemplo, si se está confeccionando un ACV sobre automóviles, se deberá considerar a las aguas residuales producidas en los sanitarios de la fábrica como datos de fondo. No hay nada especial en los sanitarios de una fábrica que la diferencie de otra, y los datos a coleccionar serán solo los que respectan a los volúmenes evacuados, siempre y cuando la profundidad del análisis (límites del sistema) requiera dicha información. En cambio, y a efectos del presente trabajo, los datos respecto a la calidad de los efluentes cloacales serán datos de primer plano por cuanto lo que se está estudiando es, justamente, el impacto ambiental de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Obtenidos los datos que sirven de base para la ejecución del trabajo, se aplican los procedimientos de cálculo para identificar y cuantificar los efectos ambientales adversos que derivan de la unidad funcional establecida. La carga ambiental es la cantidad de contaminantes que ingresa al medio o recursos que son extraídos de él, como por ejemplo, las emisiones de gases contaminantes, los efluentes líquidos, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos o radiaciones.

1.2.3. Análisis del Impacto

Como ya se ha dicho, el estándar ISO 14040 define un ACV como la compilación y evaluación de entradas y salidas de un sistema de productos y

de los impactos potenciales para el medio ambiente que el mismo genera a lo largo de su ciclo de vida. Teniendo en cuenta la definición dada, el análisis de impacto es una parte integral del ACV.

El estándar también define al AICV como la fase del ACV dirigida a entender y evaluar la magnitud y el significado de los impactos potenciales para el medio ambiente de un sistema o producto. Asimismo detalla su estructura y distingue dentro de ella cuales serán elementos obligatorios y elementos opcionales a considerar.

Eso significa que si no se aplican, al menos, los procedimientos considerados obligatorios, el estudio solo puede considerarse como un inventario del ciclo de vida.

El artículo 5.4.2 de la norma ISO 14040 establece los elementos que se consideran obligatorios (Figura 2):

- **Selección:** Procedimiento mediante el cual se determinan las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos a ser considerados. La selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización deberá ser justificada y coherente con el objetivo y alcance del ACV.
- **Clasificación:** mecanismo por el cual se asignan los datos provenientes del inventario a cada una de las categorías de impacto teniendo en cuenta el tipo de efecto ambiental que se espera. Se entiende por categoría de impacto a cada agrupamiento que representa las consecuencias ambientales generadas por los procesos o sistemas de productos.
- **Caracterización:** modelización, utilizando los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de las categorías de impacto determinadas. Los modelos de caracterización reproducen el mecanismo de afectación del medio ambiente, relacionando los resultados con cada uno de

los indicadores de categoría ICV y, en algunos casos, la categoría de punto final.

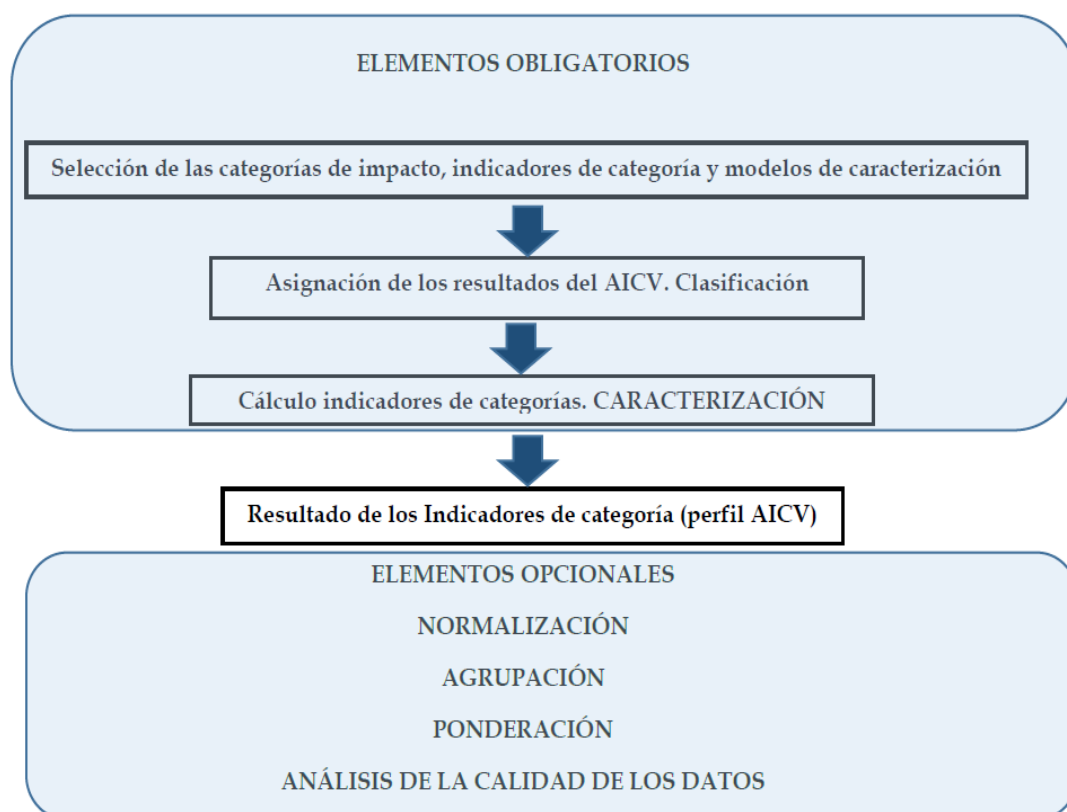


Figura 2 - Elementos obligatorios y opcionales del AICV (International Organization for Standardization, 2006a)

También establece, en forma opcional, y dependiendo del objetivo y alcance del estudio del ACV, los siguientes pasos:

- **Normalización:** procedimiento que se requiere para demostrar la medida de la contribución relativa de un sistema de productos a uno o más problemas ambientales. Por lo general se utilizan las emisiones totales anuales de un año de referencia en una región determinada o a nivel mundial para calcular las cifras de normalización. El objetivo de la normalización es entender mejor la magnitud relativa para cada indicador de resultado del sistema de producto en estudio. (Huijbregts, et al., 2003)
- **Agrupamiento y clasificación:** implica la presentación en grupo de aquellos indicadores que poseen características comunes. La clasificación es

el procedimiento donde categorías de impactos son clasificadas en forma descendente de afectación.

- **Ponderación:** Es el proceso de conversión de resultados de los indicadores de las diferentes categorías de impacto mediante el uso de factores numéricos basados en valor-opciones. Puede incluir la agregación de los resultados de los indicadores ponderados.
- **Análisis de calidad de los datos:** ayuda a entender la fiabilidad de los resultados del AICV. Se considera obligatorio en análisis comparativos.

1.2.3.1. Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos

Como se ha señalado, el análisis comienza con la selección de categorías de impacto. Para la misma se debe tener como guía el objetivo del estudio que se está realizando.

Una ayuda importante en este proceso de selección es la definición de los llamados puntos finales. Los puntos finales son aquellos temas de interés ambiental, tales como la salud de los seres humanos, la extinción de especies, la disponibilidad de recursos para la futura generación, etc. (Figura 3)

Si bien la norma ISO no especifica los puntos finales a utilizar, exige una selección cuidadosa y su definición anticipada. Definidos los puntos finales, las categorías de impacto pueden ser seleccionadas, siempre y cuando el modelo ambiental que une la categoría de impacto con el punto final se describa claramente. No obstante ello, no es necesario describir tal vínculo en forma cuantitativa.

La representación cuantitativa del impacto otorgada se denomina “indicador de la categoría” (Figura 4).

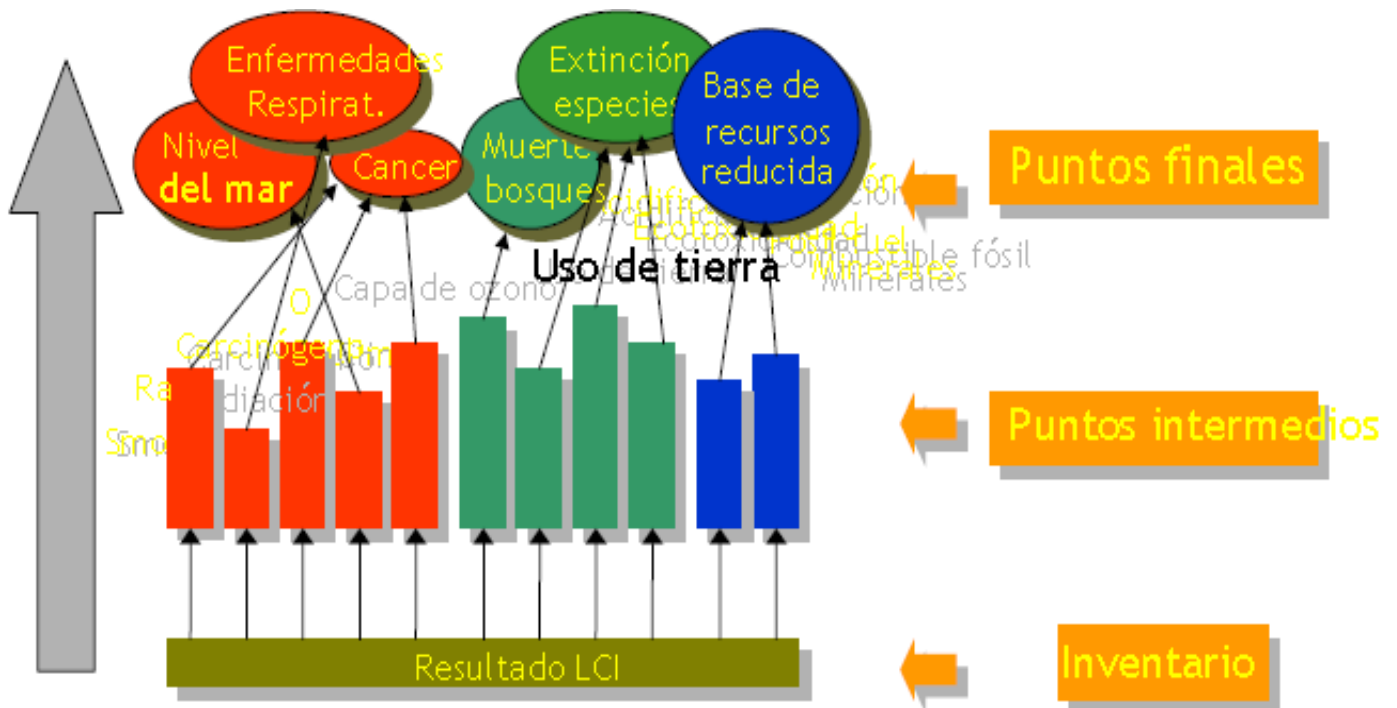


Figura 3 - Resumen general de la estructura de un método para la determinación de impacto. Es característico de los resultados LCI que producen varios indicadores para categorías de impacto Según ISO, hay que documentar la relevancia ambiental de cada indicador describiendo el vínculo con los puntos finales. Los puntos finales pueden ser seleccionados por el ejecutor, siempre y cuando las razones por incluir o excluir puntos finales sean documentadas claramente (Goedkoop *et al.*, 2013).

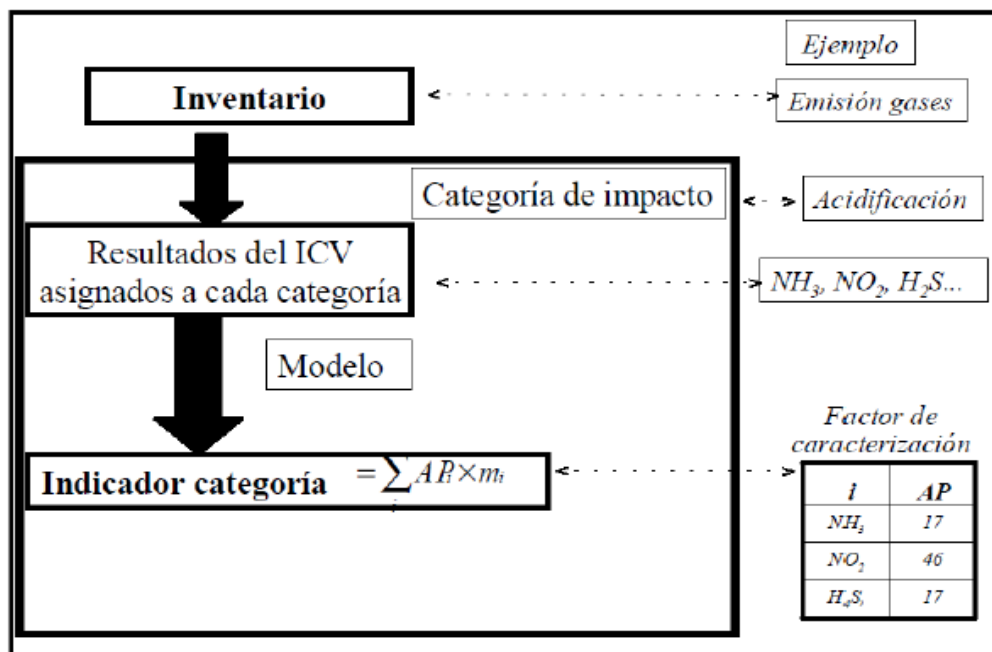


Figura 4 - Esquema de la clasificación y caracterización en la fase del AICV. Ejemplo para la categoría acidificación (Anton Vallejo, 2004)

En el ejemplo de la Figura 4, la representación cuantitativa de la acidificación corresponde a la emisión de ácido equivalente. La sumatoria de las diferentes intervenciones ambientales (AP) para una misma categoría se realiza en la unidad correspondiente al indicador de la categoría.

A través de los factores de caracterización (o factores de equivalencia) se convierten a unidades del indicador las diferentes intervenciones ambientales, tal es el caso, para el ejemplo graficado, de las emisiones gaseosas.

No todos los métodos de evaluación de impactos analizan los mismos puntos finales. De hecho, una diferencia importante entre los diferentes métodos de evaluación reside en dónde definen el impacto en la relación causa-efecto ambiental.

Aquellos que analizan el efecto último del impacto se los conoce como de “punto final” (*endpoint*), mientras que los que consideran los efectos intermedios se los denomina de “puntos intermedios” (*midpoints*).

Los indicadores que son escogidos cerca del resultado del inventario tienen una incertidumbre baja, pues están cercanos a la intervención ambiental. En otras palabras, señalan el efecto ambiental sin identificar el daño causado al hombre y a los sistemas naturales. En cambio, los indicadores seleccionados cerca del punto final, son mucho más fáciles de entender e interpretar que los anteriores, pues muestran las consecuencias que afectan directamente a la sociedad y su entorno, siendo su elección relevante a escala global. No obstante ello, la metodología para llegar a cuantificar el efecto último no está del todo elaborada y ni existe el suficiente consenso científico para recomendar su uso (Vega Rodriguez, 2010) (Figura 5).

Se han definido tres áreas de protección como categorías finales de impacto: salud humana, entorno natural y recursos renovables. Con posterioridad se incorporó una cuarta área, entorno modificado por el hombre,

que abarca los aspectos relacionados con la protección de los cultivos, bosques productivos, edificios y otros fenómenos como la lluvia ácida o impactos del ozono (Anton Vallejo, 2004).

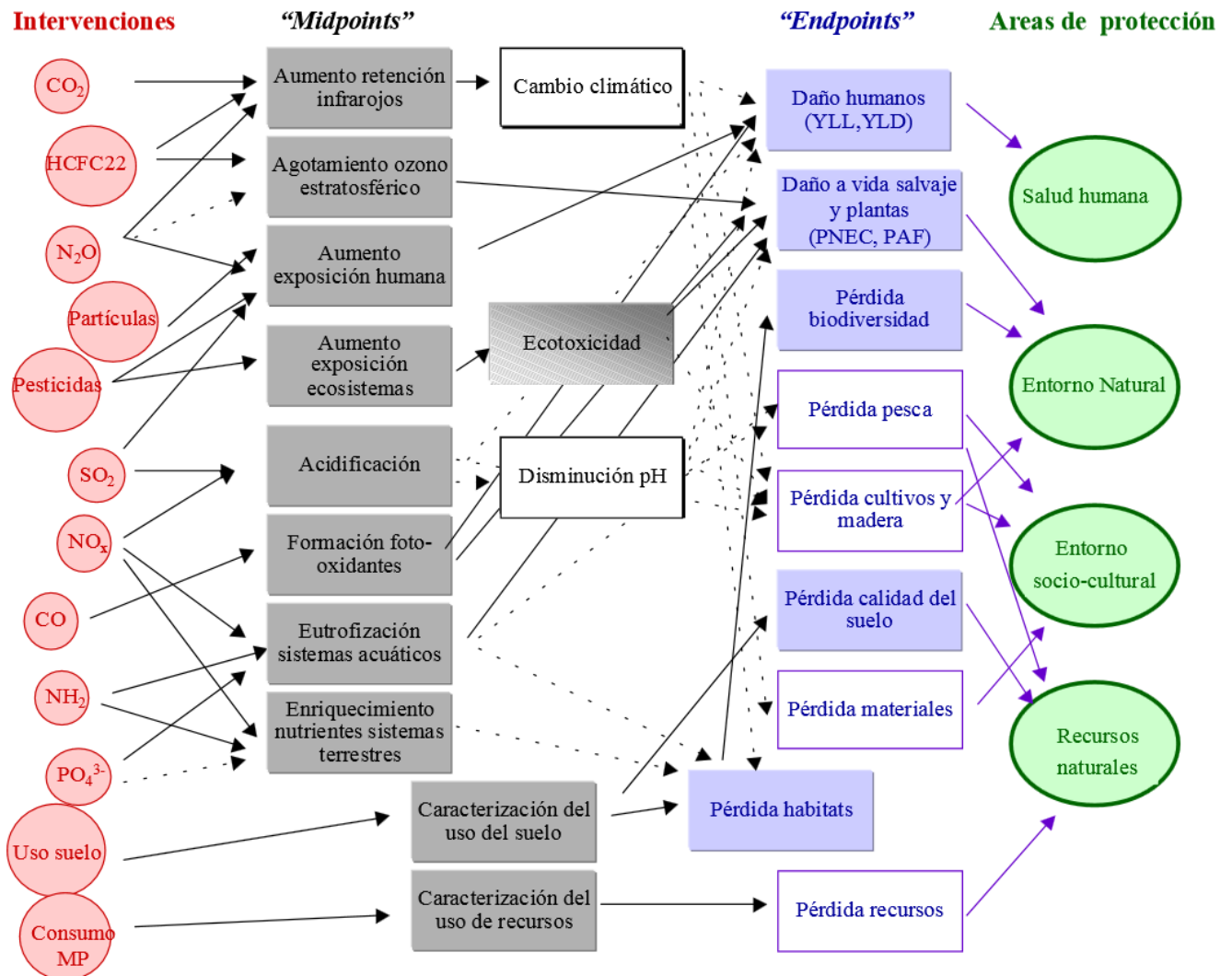


Figura 5 – Esquema de las relaciones entre intervenciones ambientales, impactos de efectos intermedios (*midpoints*), impactos de efectos finales (*endpoints*) y áreas de protección (Goedkoop, et al., 2013).

1.2.3.2. Asignación de los resultados del ICV. Clasificación

Determinadas las categorías de impactos relevantes, los resultados obtenidos se asignan a cada una de ellas mediante el procedimiento expuesto precedentemente. Por ejemplo, el NH_3 será asignado a la categoría de impacto "Acidificación" y el CO_2 y CH_4 a la categoría "Calentamiento Global". También cabe la posibilidad de asignar emisiones a más de una categoría de

impacto a la vez, como ocurre con el SO_2 , que puede ser asignado a las categorías de impacto "Salud Humana" como a la de "Enfermedades Respiratorias". Es conveniente aclarar que la misma molécula de SO_2 no puede ser inhalada y a la vez causar acidificación. La norma ISO 14044 determina claramente cómo efectuar tal asignación.

1.2.3.3. Caracterización

Una vez que las categorías de impacto hayan sido definidas y los resultados LCI hayan sido asignados a estas categorías de impacto, será necesario definir factores de caracterización. Mediante estos factores, se efectúa la modelización de los datos del inventario, los que deberán reflejar la contribución relativa de un resultado LCI al resultado del indicador de la categoría de impacto.

Por ejemplo, si en una escala de tiempo de 100 años la contribución de 1 kg de CH_4 al calentamiento de la tierra es 42 veces más alta que la de la emisión de 1 kg de CO_2 , esto significa que si el factor de caracterización de CO_2 es 1, el correspondiente al CH_4 será 42. Resumiendo, el indicador de la categoría de impacto para el calentamiento de la tierra puede ser calculado multiplicando el resultado LCI por el factor de caracterización.

1.2.3.4. Normalización

La normalización es considerada un paso opcional para un ACV simplificado, aunque es obligatoria para un LCA detallado (International Organization for Standardization, 2006a).

Muchos métodos permiten que los resultados de los indicadores categoría de impacto puedan compararse con una referencia (o normal) de valor. Esto significa, que la categoría de impacto se divide por la referencia. Una de ellas, difundida ampliamente en éste tipo de estudio, es la carga

ambiental anual promedio en un país o continente, dividido por el número de habitantes. Sin embargo, la referencia puede ser elegida libremente.

De ésta manera, para cada indicador de categoría, los factores de normalización se calculan para la situación de referencia seleccionada. En la actualidad, los datos de normalización disponibles son los correspondientes al mundo en el año 1990, Europa en 1995 y los Países Bajos en 1997 (Huijbregts, *et al.*, 2000). (Huijbregts, *et al.*, 2003)

Después de la normalización de los indicadores de categoría de impacto todos reciben la misma unidad, lo que facilita su comparación.

En el caso del programa de cálculo utilizado (SimaPro 8) no divide por el valor de referencia (N), pero se multiplica por la inversa.

En forma genérica, el factor de normalización correspondiente a una determinada categoría de impacto se calcula de la siguiente manera (Huijbregts, *et al.*, 2003):

$$A_{e,s} = \sum_r \sum_i \sum_x Q_{e,x,i,r} \times M_{x,i,r,s}$$

Donde:

$A_{e,s}$ es el factor de normalización para el indicador de categoría e referido a una situación s (kg eq. / año),

$Q_{e,x,i,r}$ es el factor de caracterización que corresponde al indicador de categoría e para la sustancia x emitidos al compartimento i en la región r (kg eq. / kg) y representa la importancia relativa del factor de estrés a una categoría de impacto

$M_{x,i,r,s}$ es la emisión anual de sustancia al compartimento x i en la región r para referencia situación s (kg / año).

1.2.4. Interpretación de los resultados

La última fase de un ACV es aquella en la que se realiza la interpretación de los resultados, la que consiste en combinar los resultados del análisis del inventario con la evaluación del impacto, determinando que fases del ciclo de vida generan las principales cargas ambientales, y por tanto, que puntos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse.

Para dar sustento a las conclusiones, y de esta manera verificar que tales conclusiones son apoyadas por los datos y los procedimientos utilizados, se deben efectuar una serie de chequeos o comprobaciones respecto a tres aspectos fundamentales:

- Comprobación de la integridad
- Comprobación de sensibilidad
- Comprobación de la coherencia.

El objetivo de la comprobación de la integridad es garantizar que toda la información relevante y datos necesarios para la interpretación estén disponibles y completos. En caso que algún tipo de información relevante falte o sea incompleta, considerando como tal aquella mediante la cual se satisface el objetivo y está comprendida dentro del alcance del ACV, tal situación debe ser aclarada en las conclusiones del estudio.

En cuanto a la comprobación de la sensibilidad, su finalidad es la de evaluar la fiabilidad de los resultados y conclusiones finales. Para ello se debe determinar en qué forma afecta la incertidumbre de los datos, los métodos de asignación y del modelo seleccionado a los resultados obtenidos.

El objetivo de la comprobación de coherencia es determinar si los supuestos, los métodos y los datos son coherentes con el objetivo y el alcance.

Por último, y como parte de la interpretación se incluyen las conclusiones a las cuales se ha arribado, las limitaciones que presenta el análisis efectuado y las recomendaciones que se consideren necesarias para una correcta toma de decisiones.

En caso de comparar distintos productos o procesos con la misma función se podrá determinar cuál de ellos presenta un mejor comportamiento ambiental.

1.3. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CICLO DE VIDA: MÉTODOS DE EVALUACIÓN. CML 2001 - BASELINE

Existen varios métodos de evaluación. Su elección dependerá de las categorías a evaluar, el tipo de producto, la relevancia del trabajo, entre otras consideraciones. Como se mencionó, hay métodos que efectúan los cálculos utilizando puntos intermedios y otros que los realizan implementando puntos finales.

Los métodos de evaluación del impacto final de mayor difusión son el Eco-Indicador 99, la metodología del BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) del Ministerio Suizo del Medioambiente y el método EPS (Environmental Priority Strategies) (PRé Consultants, 2010).

En cuanto a los métodos que utilizan metodología de impacto tipo de punto medio, el más difundido es el desarrollado por CML (Center of Environmental Science of Leiden University).

Como se mencionó, la finalidad del presente trabajo es, en primer término, evaluar, a nivel local y regional, el impacto ambiental que se generan como resultado de los procesos y la operatoria de la “Planta Depuradora Bahía Blanca” y la descarga de los efluentes en el estuario en las condiciones actuales de vuelco.

A continuación se determinarán las modificaciones necesarias a incorporar a la planta para llevar el proceso actual hasta un grado de tratamiento terciario que permita la reutilización de las aguas regeneradas con fines industriales y riego, determinando, a su vez, el impacto ambiental que generaría el proceso en las nuevas condiciones de operación.

Por último, desarrollados ambos escenarios, efectuar la comparación de ambos procesos, determinando el impacto ambiental generado en cada caso.

Determinados los alcances del presente trabajo, y analizados los diferentes métodos de evaluación, se arribó a la conclusión que si bien los métodos denominados de “puntos finales” son de más fácil comprensión, traen aparejadas mayores incertidumbres. Asimismo, y teniendo en cuenta, a su vez, que los métodos que utilizan puntos intermedios permiten conclusiones a nivel local y regional más que a nivel global, se decidió implementar la metodología desarrollada por el Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Leiden, denominado CML 2001, en la versión “Baseline”, como base teórica de la presente investigación.

Esta metodología determina una lista de categorías de impacto clasificados en tres grupos, dependiendo de la obligatoriedad de incluirlos o no el ACV (Tabla 1).

Estas tres categorías quedan definidas de la siguiente manera:

- A. Categorías de impacto obligatorias, utilizadas en la mayoría de los ACV.
- B. Categorías de impacto adicionales, para las cuales existen indicadores pero no siempre son incluidos.
- C. Otras categorías de impacto para las cuales no se dispone de indicadores que permitan cuantificar el impacto y por lo tanto no son incluidas en los ACV.

Tabla 1 – Clasificación de las diferentes categorías de impacto atendiendo al área de protección que corresponden, unidades equivalentes, escala geográfica y obligatoriedad de incluirlas según CML (Anton Vallejo, 2004). (Los sombreados en amarillo fueron los utilizados en el presente trabajo)

Categoría de impacto	Área de Protección ⁽¹⁾	Unidades ⁽²⁾	Escala geográfica	CML
Entradas				
Agotamiento recursos abióticos	IV	kg Sb a ⁻¹⁽⁺⁾	Global	A
Energía	IV	MJ kg ⁻¹	Global	A
Uso del suelo Competitividad	IV		Local	A
Pérdida soporte vida	I, II, III		Local	B
Pérdida Biodiversidad	II		Local	B
Salidas				
Cambio climático	I, II, III	kg CO ₂	Global	A
Agotamiento Ozono	I, II, III, IV	kg CFC11	Global	A
Acidificación	I, II, III, IV	kg SO ₂ kg H ⁺ ⁽⁺⁾	Continental/regional/local Global	A
Eutrofización	I, III, IV	kg PO ₃ ⁻	Continental/regional/local	A
Formación Foto-oxidantes	I, II, III, IV	kg etileno	Continental/regional/local	A
Toxicitat humana	I	kg 124 DCB kg Pb aire ^(*)	Continental/regional/local Global	A
Ecotoxicitat Terrestre	II, IV	kg 124 DCB kg Zinc aire ^(*)	Continental/regional/local Global	A
Acuática marina	II, IV	kg 124 DCB	Continental/regional/local	A
Acuática agua dulce	II, IV	kg 124 DCB kg Zinc agua ^(*)	Continental/regional/local Global	A
Sedimento agua dulce	II, IV	kg 124 DCB	Continental/regional/local	B
Sedimento marino	II, IV	kg 124 DCB	Continental/regional/local	B
Otros				
Desecación		m ³	Local	C
Radiaciones			Regional/local	B
Olor			Local	B
Ruido			Local	C

⁽¹⁾ Áreas de protección: I salud humana, II entorno natural, III entorno modificado por el hombre, IV recursos naturales

⁽²⁾ Unidades propuestas por (Guinée y col., 2002) a excepción de ⁽⁺⁾ TEAM (1999) y ^(*) Audsley (1997)

Así, para la versión “Baseline” del método desarrollado por la Universidad de Leiden, las categorías de impacto a considerar, aplicadas para el desarrollo de la presente tesis, son las siguientes:

- Agotamiento de los recursos abióticos
- Cambio climático
- Agotamiento del ozono estratosférico
- Acidificación
- Eutrofización
- Formación de oxidantes foto-químicos
- Toxicidad en aguas marinas
- Toxicidad en aguas superficiales
- Toxicidad terrestre
- Toxicidad en humanos

1.3.1. *Categorías de Impacto*

1.3.1.1. **Agotamiento de los recursos abióticos.**

Esta categoría de impactos es definida como la disminución de la disponibilidad de los recursos naturales. Dentro de ella se incluyen no solo a los recursos abióticos, sino también a la energía.

En forma genérica, el valor de AR (Agotamiento de los Recursos) queda determinado por la fórmula:

$$AR = \sum_i F_i \times m_i$$

donde:

- m_i es la cantidad de recurso utilizado, indicado en Kg., m³ o MJ
- F_i es un factor que caracteriza a cada material.

Así, el agotamiento se calcula como la relación entre la cantidad del recurso usado y la total de su reserva, siendo el valor de F_i la inversa de la reserva (Kg^{-1}). Véase que en este caso AR es adimensional. El problema de indicar el agotamiento a través de este factor es que no hace diferencias entre recursos que sean más o menos escasos, inclusive aquellos que pueden regenerarse (Guinee *et al.*, 2001b).

Guinée y Heijungs (2004) recomiendan la utilización de un nuevo indicador, el ADF_i ó “*Abiotic Depletion Factor*” (Factor de Agotamiento Abiótico) mediante el cual se tienen en cuenta no solo las reservas sino la proporción de disminución, las que se calculan a partir de ellas.

A partir de este nuevo factor, el AR se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$AR = \sum_i ADF_i \times m_i$$

Con la aplicación de esta nueva fórmula, el valor de AR queda expresado en kg equivalentes de antimonio, recurso que se utiliza como referencia.

El ADF_i , indicado en kg Sb. eq. /kg, se obtiene a partir de (Guinee, *et al.*, 2001b, p. 52):

$$ADF_i = \frac{DR_i i (R_{ref})^2}{R_i^2 DR_{ref}}$$

donde:

- R_i es la reserva del recurso i en Kg.
- DR_i es la disminución del recurso R_i en Kg/año
- R_{ref} es la reserva de antimonio, en Kg, utilizado como recurso de referencia
- DR_{ref} es la disminución del recurso de referencia, en Kg/año

En la Tabla 2 se pueden apreciar los valores de ADF y F (factor propuesto por Ecobilan Group en “Tools for Environmental Analysis and Management”, el que depende de la magnitud y los años con que se contará con la reserva) (TEAM, 1999).

Tabla 2 - Factor de caracterización del agotamiento de recursos abióticos, F (TEAM, 1999) y ADF (Guinee, 2001).

Substancia	F kg ⁻¹ ·a ⁻¹	ADF kg Sb eq·kg ⁻¹
Antimonio	13.671,9	1
Azufre (S, in ground)	4,408	0,000358
Bauxita (Al ₂ O ₃ , ore)	0,108	-
Calcio	-	7,08E-10
Carbón (in ground)	0,0005037	0,00363
Cloro	-	4,86E-08
Cloruro potásico (KCl, as K ₂ O, in ground)	0,086	-
Cobre (Cu, ore)	28,16	0,00194
Cromo (Cr, ore)	0,319	-
Fosfatos (in ground)	0,115	-
Fósforo	-	0,0000844
Gas Natural (in ground)	0,117	0,32
Hierro (Fe, ore)	0,04	8,43E-08
Lignito (in ground)	0,0005037	-
Magnesio	-	3,73E-09
Manganeso (Mn, ore)	0,296	0,0000138
Níquel (Ni, ore)	59,7	-
Perlita (SiO ₂)	0,468	-
Petróleo (in ground)	0,0557	0,436
Plata (Ag, ore)	92837	1,84
Plomo (Pb, ore)	157	0,0135
Potasio (K, as K ₂ O, in ground)	0,086	3,13E-08
Sodio	-	8,24E-11
Sulfato de Bario (BaSO ₄ , in ground)	26,91	-
Uranio (U, ore)	181	-
Zinc (Zn, ore)	40,29	-

1.3.1.2. Cambio climático

Se puede definir “efecto invernadero” al fenómeno mediante el cual algunos gases que conforman la atmósfera terrestre retienen parte de la energía liberada por el planeta y que es producto del calentamiento a causa de la radiación solar.

Dichos gases son, principalmente, el vapor de agua y el dióxido de carbono, y otros gases como el metano, el óxido nitroso y los compuestos clorofluorcarbonados, entre otros. A esto se suma la acción del hombre, quien ha ocasionado un incremento en las emisiones de estos gases, que a futuro, puede derivar en un sobrecalentamiento del planeta y por lo tanto una alteración de sus condiciones.

Como se puede apreciar, el “cambio climático” puede traer consecuencias adversas sobre la calidad de los ecosistemas, la vida humana y el llamado “entorno modificado por el hombre” (PRé Consultants, 2010).

El indicador utilizado para evaluar este impacto es el Indicador de Cambio Climático (Climate Change). Se calcula en función del efecto producido por un kilogramo de dióxido de carbono, y se expresa mediante la siguiente fórmula (Guinee *et al.*, 2001b):

$$Climate\ Change = \sum_i GWP_i \times m_i$$

donde:

m_i es la masa de la sustancia i expresada en kg y

GWP es el potencial de calentamiento global.

El GWP es un factor desarrollado por el “Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático” (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) para comparar las emisiones de diferentes gases invernaderos.

Tabla 3 - Factores de caracterización, GWP, en kg CO₂-kg-1, para el cálculo de la categoría de cambio climático (Climate Change), para diferentes gases invernadero y períodos de integración de 20, 100 y 500 años (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007)

Nombre comercial o nombre común	Fórmula química	Tiempo de vida (años)	Eficiencia radiativa (w m ⁻² ppb ⁻¹)	Potencial de calentamiento global para determinados horizontes temporales			
				SAR# (100 años)	20 años	100 años	500 años
Dióxido de carbono	CO ₂	See below ^a	^b 1.4x10 ⁻⁵	1	1	1	1
Metano	CH ₄	12 ^c	3.7x10 ⁻⁴	21	72	25	7.6
Óxido nitroso	N ₂ O	114	3.03x10 ⁻³	310	289	298	153
Sustancia controlada por el Protocolo de Montreal							
CFC-11	CCl ₃ F	45	0.25	3,800	6,730	4,750	1,620
CFC-12	CCl ₂ F ₂	100	0.32	8,100	11,000	10,900	5,200
CFC-13	CClF ₃	640	0.25		10,800	14,400	16,400
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	85	0.3	4,800	6,540	6,130	2,700
CFC-114	CClF ₂ CClF ₂	300	0.31		8,040	10,000	8,730
CFC-115	CClF ₂ CF ₃	1,700	0.18		5,310	7,370	9,990
Halon-1301	CBrF ₃	65	0.32	5,400	8,480	7,140	2,760
Halon-1211	CBrClF ₂	16	0.3		4,750	1,890	575
Halon-2402	CBrF ₂ CBrF ₂	20	0.33		3,680	1,640	503
Tetracloruro de carbono	CCl ₄	26	0.13	1,400	2,700	1,400	435
Bromuro de metilo	CH ₃ Br	0.7	0.01		17	5	1
Cloroformo	CH ₃ CCl ₃	5	0.06		506	146	45
HCFC-22	CHClF ₂	12	0.2	1,500	5,160	1,810	549
HCFC-123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.14	90	273	77	24
HCFC-124	CHClFCF ₃	5.8	0.22	470	2,070	609	185
HCFC-141b	CH ₃ CCl ₂ F	9.3	0.14		2,250	725	220
HCFC-142b	CH ₃ CClF ₂	17.9	0.2	1,800	5,490	2,310	705
HCFC-225ca	CHCl ₂ CF ₂ CF ₃	1.9	0.2		429	122	37
HCFC-225cb	CHClFCF ₂ CClF ₂	5.8	0.32		2,030	595	181
Hidrofluorcarbonados							
HFC-23	CHF ₃	270	0.19	11,700	12,000	14,800	12,200
HFC-32	CH ₂ F ₂	4.9	0.11	650	2,330	675	205
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	29	0.23	2,800	6,350	3,500	1,100
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14	0.16	1,300	3,830	1,430	435
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	52	0.13	3,800	5,890	4,470	1,590
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	1.4	0.09	140	437	124	38
HFC-227ea	CF ₃ CHFCF ₃	34.2	0.26	2,900	5,310	3,220	1,040
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	240	0.28	6,300	8,100	9,810	7,660
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	7.6	0.28		3,380	1030	314
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	8.6	0.21		2,520	794	241
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	15.9	0.4	1,300	4,140	1,640	500
Compuestos perfluorados							
Sulphur hexafluoride	SF ₆	3,200	0.52	23,900	16,300	22,800	32,600
Nitrogen trifluoride	NF ₃	740	0.21		12,300	17,200	20,700
PFC-14	CF ₄	50,000	0.10	6,500	5,210	7,390	11,200
PFC-116	C ₂ F ₆	10,000	0.26	9,200	8,630	12,200	18,200

Se define como la relación entre la contribución a la absorción de calor resultante de la emisión de 1 kilogramo de un gas con efecto invernadero y la emisión equivalente de dióxido de carbono a lo largo del tiempo. Su valor depende de la concentración del gas y del calentamiento producido por su concentración en el tiempo que se considere su integración (Anton Vallejo, 2004).

El IPCC publica periódicamente los valores del GWP para diferentes gases y tiempos de integración (Tabla 3).

El valor del GWP será función del tiempo de integración, y la elección de dicho período será consecuencia del tipo de efecto a analizar. Es decir, para estudios que pretenden predecir efectos a largo plazo, se utilizarán tiempos de integración de 100 ó 500 años. En cambio, cuando las consecuencias a evaluar sean a corto plazo, se seleccionan 20 o 50 años. A los fines de la presente investigación se seleccionó un periodo de integración de 20 años.

1.3.1.3. Agotamiento del ozono estratosférico

La capa de ozono, parte componente de la estratósfera, se comporta como un filtro que absorbe parte de la radiación ultravioleta que, de otro modo, llegaría totalmente a la superficie terrestre. La disminución en su espesor ha provocado un incremento en la cantidad de radiación UV-B que llega a la tierra. A dichas radiaciones se les atribuye el aumento en ciertas enfermedades que aquejan a los humanos, entre las que se destacan, el cáncer de piel, afecciones en el sistema inmunitario, entre otras. También afectan a la producción agrícola, degradan los ecosistemas acuáticos y terrestres y a ciertos materiales (United Nations Environment Programme, 2010).

La mayoría de los compuestos fluorocarbonados, clorofluorcarbonados, entre otros, reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares (PSCs)

emitiendo cloruros y bromuros activos que bajo la acción catalizadora de las UV provocan la descomposición del ozono.

El modelo de caracterización para este indicador fue desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y se define a partir del cálculo del potencial de agotamiento de ozono (ODP). La WMO publica periódicamente los valores del indicador para diferentes sustancias (PRÉ Consultants, 2010).

Mediante la sumatoria de los ODP para las distintas sustancias presentes multiplicadas por su masa en kilogramos se obtiene el indicador de Agotamiento de Ozono (Ozone Depletion), expresado en unidades equivalentes al de 1 kg de CFC-11 (Guinee *et al.*, 2001b)

$$Ozone\ Depletion = \sum_i ODP_{oi} \times m_i$$

donde:

m_i es la masa de la sustancia i expresada en kg y

ODP es el potencial de agotamiento de ozono.

Los valores de ODP son publicados por la Organización Meteorológica Mundial en diferentes reportes, los que actualiza periódicamente (Tabla 4).

Tabla 4 – Potenciales de agotamiento de ozono y potenciales de calentamiento global de diferentes sustancias (World Meteorological Organization, 2010).

GAS	Tiempo de vida en la atmosfera (en años)	Emisiones globales en 2008 (KT/año) ^a	Potencial de agotamiento de ozono (ODP) ^c	Potencial de calentamiento global (GWP) ^c
GASES HALÓGENOS				
GASES DE CLORO				
CFC-11	45	52-91	1	4750
CFC-12	100	41-99	0,82	10900
CFC-13	85	3-8	0,85	6130
Carbón tetracloruro (CCl ₄)	26	40-80	0,82	1400
HCFCs	1-17	385-481	0,01-0,02	77-2200
Metilcloroformo (CH ₃ CCl ₃)	5	< 10	0,16	146
Metilcloruro (CH ₃ Cl)	1	3600-4600	0,02	13
GASES DE BROMO				
Halón 1301	65	1-3	15,9	7140
Halón 1211	16	4-7	7,9	1890
Metilbromuro (CH ₃ Br)	0,8	110-150	0,66	5
Gases de muy corta vida)	< 0,5	^b	^b muy bajo	^b muy bajo
HIDROFLUORCARBONADOS (HFCs)				
HFC-134 ^a	13,4	149±27	0	1370
HFC-23	222	12	0	14200
HFC-143 ^a	47,1	17	0	4180
HFC-125	28,2	22	0	3420
HFC-152a	1,5	50	0	133
HFC-32	5,2	8,9	0	716
^a Incluye tanto las actividades humanas (producción y bancarias) y fuentes naturales. Las emisiones están en la unidad de kilotoneladas por año (1 kilotonelada = 1.000 toneladas) ^b Las estimaciones son muy inciertas para la mayoría de las especies. ^c 100 años PCA PAO y PCA se discuten en Q18. Los valores se calculan para emisiones de una masa igual de cada gas				

Acidificación

Este fenómeno consiste en la variación de acidez del medio como resultado de la liberación de óxidos de nitrógeno y azufre en el aire, en el suelo y en el agua. Sus efectos no solo afectan la flora, fauna y a la salud humana, sino también produce efectos sobre ciertos materiales (Anton Vallejo, 2004). En

consecuencia, afecta las cuatro áreas de protección determinadas precedentemente (Tabla 1).

El “International Institute for Applied Systems Analysis” (IIASA) desarrollo un modelo de simulación, el “Regional Air Pollution Information and Simulation” (RAINS) a partir de cual pueden calcularse los efectos que causa el fenómeno de la acidificación en el ambiente (PRé Consultants, 2010).

Tabla 5 – AP genéricos para la caracterización de la acidificación en función de las emisiones al aire (Guinee *et al.*, 2001b)

Sustancia	Numero CAS	AP (en Kg SO ₂ eq./Kg)
Amoníaco	7664-41-7	1.88
Cloruro de hidrógeno	7664-01-0	0.88
Fluoruro de hidrógeno	7664-39-3	1.60
Sulfuro de hidrógeno	7783-06-4	1.88
Ácido nítrico	7697-37-2	0.51
Dióxido de nitrógeno	10102-44-0	0.70
Monóxido de nitrógeno	10102-43-9	1.07
Óxidos de nitrógeno	10102-44-0	0.70
Ácido fosfórico	7664-38-2	0.98
Dióxido de azufre	7446-09-5	1.00
Trióxido de azufre	7446-11-9	0.80
Ácido sulfúrico	7664-93-9	0.65

El modelo describe el destino y disposición de las emisiones que producen la acidificación, a partir del análisis de dispersiones atmosféricas características, sensibilidad ambiental a la polución aérea, etc. (IIASA, 2004).

La acidificación se calcula a partir de una adaptación del modelo *RAINS 10* (PRé Consultants, 2010), y según la siguiente fórmula (Guinee *et al.*, 2001b):

$$acidificación = \sum_i AP_i \times m_i$$

donde:

AP es el potencial de acidificación de la sustancia *i* (expresado en kg equivalentes de SO₂) emitida al aire (Tabla 5) y

m es la masa (en kilogramos) de la sustancia *i*

1.3.1.4. Eutrofización

Bajo este nombre se conoce a los impactos producidos por el excesivo nivel de macronutrientes en el ambiente causado por el volcado de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes (PRé Consultants, 2010). El efecto es, inicialmente, un aumento en la biomasa de los ecosistemas acuáticos, por ejemplo, la aparición de cierto tipo de algas. Este incremento provoca una disminución del contenido de oxígeno (medido en DBO) producto del consumo de tal elemento efecto de la descomposición de la biomasa, pudiendo llegar a condiciones anaerobias. En esta situación, y producto de bacterias anaeróbicas o facultativas, se liberan gas metano, ácido sulfhídrico y amoníaco, e impiden el desarrollo de cualquier tipo de vida aeróbica (Anton Vallejo, 2004).

Este fenómeno afectará las áreas de protección entorno natural y modificado por el hombre, como así también la de recursos naturales (Tabla 6).

Tabla 6 – Valores genéricos de EP para la caracterización de la eutrofización

Sustancia	Número CAS	EP (En Kg PO ₄ eq/kg)
Amoníaco	7664-41-7	0.35
Amoníaco	14798-03-9	0.33
Nitrato	14797-55-8	0.1
Ácido nítrico	7697-37-2	0.1
Nitrógeno	7727-37-9	0.42
Dióxido de nitrógeno	10102-44-0	0.13
Monóxido de nitrógeno	10102-43-9	0.2
Óxidos de nitrógeno	10102-44-0	0.13
Fosfatos	7664-38-2	1
Ácido fosfórico (H ₃ PO ₄)	7664-38-2	0.97
Fósforo	7723-14-0	3.06
Óxido fosforoso (P ₂ O ₅)	1314-56-3	1.34
Demanda química de Oxígeno (DQO)	-	0.022

La eutrofización, indicada en kg equivalentes de PO₄, se obtiene a partir de la siguiente fórmula (Guinee *et al.*, 2001b):

$$eutrofización = \sum_i EP_i \times m_i$$

donde:

EP es el potencial de eutroficación de la sustancia i (expresado en kg equivalentes de PO_4) emitida (Tabla 6) y

m es la masa (en kilogramos) de la sustancia i

1.3.1.5. Formación de oxidantes foto-químicos

Estos compuestos se originan por la reacción de los óxidos de nitrógeno con los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en presencia de la radiación ultravioleta proveniente del sol, produciendo ozono troposférico. Su aparición se ve favorecida en presencia de anticiclones, en épocas estivales (alto índice UV) y vientos débiles que dificultan la dispersión de los contaminantes primarios.

Estos oxidantes afectan a la salud humana, los ecosistemas y la agricultura, y por lo tanto, a las cuatro áreas de protección salud humana, recursos naturales y entornos natural y modificado por el hombre (Tabla 1).

El cálculo del indicador de formación de foto-oxidantes se hace utilizando el factor de caracterización POCP (Photo-chemical Ozone Creation Potentials) (Guinee *et al.*, 2001b, 2002) y se expresa en función de la unidad de referencia, un kilogramo de etileno (Tabla 7). El modelo de cálculo utilizado para la presente investigación es el de la UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), que considera un tiempo de integración de cinco días y una escala geográfica que varía entre local y continental (PRé Consultants, 2010):

$$\text{Oxidant formation} = \sum_i POCP_i \times m_i$$

donde:

m_i es la masa de la sustancia i expresada en kg y

$POCP$ es el potencial de creación de Ozono Foto-químico.

Tabla 7 – Factores de equivalencia, POCP, g eq. etileno-g-1 en función de la concentración de NOx en el área de emisión (TEAM, 1999 en Anton Vallejo, 2004).

Substancia	POCP medio	POCP alto	POCP bajo
Acetaldehido (CH ₃ CHO)	0,527	1,22	0,33
Acetileno (C ₂ H ₂)	0,168	0,42	0,1
Acetona (CH ₃ COCH ₃)	0,178	0,27	0,1
Aldehido (sin especificar)	0,443	1,263	0,079
Alkane (sin especificar)	0,398	1,173	0,114
Benzaldehido (C ₆ H ₅ CHO)	-0,334	-0,12	-0,82
Benzeno (C ₆ H ₆)	0,189	0,45	0,11
Butano (n-C ₄ H ₁₀)	0,41	1,15	0,15
Buteno (1-CH ₃ CH ₂ CHCH ₂)	0,959	1,85	0,57
Etano (C ₂ H ₆)	0,082	0,3	0,02
Etanol (C ₂ H ₅ OH)	0,268	0,89	0,04
Etileno (C ₂ H ₄)	1	1	1
Formaldehido (CH ₂ O)	0,421	0,58	0,22
Heptano (C ₇ H ₁₆)	0,529	1,65	0,13
Hexano (C ₆ H ₁₄)	0,421	1,51	0,1
Hidrocarburos (sin especificar)	0,377	0,808	0,194
Hidrocarburos aromáticos (sin especificar)	0,761	1,285	0,481
Hidrocarburos Halogenados (sin especificar)	0,021	0,048	0,003
Hidrocarburos (excepto metano)	0,416	0,799	0,195
Metano (CH ₄)	0,007	0,03	0
Metanol (CH ₃ OH)	0,123	0,21	0,09
Propano (C ₃ H ₈)	0,42	1,24	0,16
Propileno (CH ₂ CHCH ₃)	1,03	1,63	0,75
Propionaldehido (CH ₃ CH ₂ CHO)	0,603	1,6	0,28
Tolueno (C ₆ H ₅ CH ₃)	0,563	0,83	0,41

1.3.1.6. Toxicidad

Bajo esta categoría se agrupan los efectos tóxicos de ciertas sustancias sobre el entorno natural. Su determinación se apoya en el método USES-LCA (Uniform System for the Evaluation of Substances). Este método ha sido elaborado para cuantificar el riesgo, a nivel local, regional y global, de ciertas sustancias sobre el ambiente (Huijbregts *et al.*, 2000).

En forma genérica, el impacto sobre el medio ambiente puede ser expresado de la siguiente manera:

$$IS_i = \sum_{e=1}^{e=m} \sum_{x=1}^{x=n} E_{x,e} \times EF_{i,x,e}$$

donde:

IS_i es la valor del impacto para la categoría de impacto i y para el valor de la unidad de medida seleccionada de la sustancia (kg);

$EF_{i,x,e}$ es el factor de equivalencia para la categoría de impacto i de la sustancia x correspondiente al compartimiento ambiental e ;

$E_{x,e}$ corresponde al valor de la emisión de la sustancia x sobre el compartimiento ambiental e ;

m es el número de compartimientos y

n el número de sustancias (Huijbregts, *et al.*, 2000).

El factor de equivalencia, también llamado “potencial” es definido para cada sustancia en particular y es una representación cuantitativa del “impacto potencial” por unidad de emisión de la misma sobre un determinado compartimiento ambiental. Su unidad de referencia es el 1,4 diclorobenceno y se lo indica en kilogramos equivalentes de esta sustancia.

Debe tenerse especial atención en no confundir los “Factores de Toxicidad Potencial” con el valor del “Impacto Ambiental” que la sustancia genera.

El método USES-LCA, cuya adaptación del modelo es orientada a los estudios de ACV, se aplica principalmente sobre seis categorías de impacto (aguas superficiales, aguas marinas, sedimentos en aguas superficiales, sedimentos en aguas marinas, suelo y humanos) y con destino de las emisiones orientado hacia cinco compartimientos ambientales (aire, agua superficial, agua de mar, suelo agrícola y suelo industrial)

Cada uno de ellos está referido a un escenario de emisión. De esta manera, se pueden calcular la 30 potenciales de toxicidad por cada sustancia, los que surgen de la combinación de las seis categorías de impacto y los cinco compartimientos ambientales de la emisión (Huijbregts *et al.*, 2000).

En la presente investigación se tendrán en cuenta el impacto que la emisión de una sustancia genera sobre las categorías de impacto en humanos, aguas marinas, aguas superficiales, y terrestre en cada uno de los compartimientos señalados.

Así, la toxicidad para cada una de las categorías quedará definida como:

$$\text{Human toxicity} = \sum_i \sum_{ecom} HTP_{ecom,i} \times m_{ecom,i}$$

(Guinee, *et al.*, 2001b)

$$\text{fresh water aquatic ecotoxicity} = \sum_i \sum_{ecom} FAETP_{ecom,i} \times m_{ecom,i}$$

$$\text{marine aquatic ecotoxicity} = \sum_i \sum_{ecom} MAETP_{ecom,i} \times m_{ecom,i}$$

$$\text{terrestrial ecotoxicity} = \sum_i \sum_{ecom} TETP_{ecom,i} \times m_{ecom,i}$$

(Guinee, *et al.*, 2001b)

donde:

HTP (Human Toxicity Potential)

$FAETP_{ecom,i}$ es el factor de caracterización de la sustancia *i*, emitida al compartimiento ambiental *ecom* (aire, aguas superficiales, aguas marinas, suelo agrícola y suelo industrial)

FAETP (Fresh water Aquatic EcoToxicity Potential)

MAETP (Marine Aquatic EcoToxicity Potential)

TETP (Terrestrial EcoToxicity Potential)

$m_{ecom,i}$ representa la emisión de la sustancia *i* al compartimiento ambiental *ecom*.

Tabla 8 – Potencial de Toxicidad de algunas sustancias referidas al compartimiento ambiental al que corresponden y la categoría de impacto asociada (Huijbregts, *et al.*, 2000).

Sustancia		N° CAS	Tipo	Compartimiento inicial de emisión				
N°	Nombre			Aire	agua Fresca	agua de mar	suelo agrícola	suelo industrial
1	Antimonio	7440-36-0	FAETP	3.7	2.0×10^1	7.6×10^{21}	1.0×10^1	1.0×10^1
			MAETP	3.3×10^4	2.7×10^4	4.9×10^4	1.4×10^4	1.4×10^4
			FSETP	9.1	4.8×10^1	1.8×10^{20}	2.4×10^1	2.4×10^1
			MSETP	3.1×10^4	2.5×10^4	4.6×10^4	1.3×10^4	1.3×10^4
			TETP	6.1×10^1	1.7×10^{20}	3.0×10^{20}	1.3	1.3
2	Arsénico	7440-38-2	HTP	6.7×10^3	5.1×10^3	8.6×10^3	8.9×10^3	2.6×10^3
			FAETP	5.0×10^1	2.1×10^2	3.8×10^{20}	1.3×10^2	1.3×10^2
			MAETP	2.3×10^5	1.2×10^5	3.4×10^5	7.7×10^4	7.7×10^4
			FSETP	1.3×10^2	5.3×10^2	9.8×10^{20}	3.4×10^2	3.4×10^2
			MSETP	2.3×10^5	1.2×10^5	3.4×10^5	7.7×10^4	7.7×10^4
3	Bario	7440-39-3	TETP	1.6×10^3	1.0×10^{17}	3.0×10^{17}	3.3×10^3	3.3×10^3
			HTP	3.5×10^5	9.5×10^2	2.4×10^3	3.2×10^4	1.0×10^3
			FAETP	4.3×10^1	2.3×10^2	2.4×10^{19}	1.1×10^2	1.1×10^2
			MAETP	7.8×10^5	8.3×10^5	1.1×10^6	4.2×10^5	4.2×10^5
			FSETP	9.7×10^1	5.1×10^2	5.4×10^{19}	2.6×10^2	2.6×10^2
4	Berilio	7440-41-7	MSETP	6.7×10^5	7.1×10^5	9.3×10^5	3.6×10^5	3.6×10^5
			TETP	4.9	5.1×10^{19}	6.6×10^{19}	1.0×10^1	1.0×10^1
			HTP	7.6×10^2	6.3×10^2	8.0×10^2	3.6×10^2	3.2×10^2
			FAETP	1.7×10^4	9.1×10^4	1.6×10^{16}	4.6×10^4	4.6×10^4
			MAETP	4.7×10^8	5.4×10^8	6.4×10^8	2.7×10^8	2.7×10^8
5	Cadmio	7440-43-9	FSETP	2.0×10^4	1.1×10^5	1.8×10^{16}	5.4×10^4	5.4×10^4
			MSETP	2.0×10^8	2.3×10^8	2.8×10^8	1.2×10^8	1.2×10^8
			TETP	1.8×10^3	3.3×10^{16}	3.9×10^{16}	3.6×10^3	3.6×10^3
			HTP	2.3×10^5	1.4×10^4	1.6×10^4	1.3×10^4	7.0×10^3
			FAETP	2.9×10^2	1.5×10^3	2.5×10^{20}	7.8×10^2	7.8×10^2
6	Cromo III	7440-47-3	MAETP	1.1×10^6	2.2×10^5	1.8×10^6	1.1×10^5	1.1×10^5
			FSETP	7.4×10^2	3.9×10^3	6.5×10^{20}	2.0×10^3	2.0×10^3
			MSETP	1.1×10^6	2.2×10^5	1.9×10^6	1.1×10^5	1.1×10^5
			TETP	8.1×10^1	1.4×10^{20}	1.1×10^{19}	1.7×10^2	1.7×10^2
			HTP	1.5×10^5	2.3×10^1	1.0×10^2	2.0×10^4	6.7×10^1
7	Cromo VI	7440-47-3	FAETP	1.9	6.9	8.8×10^{23}	5.3	5.3
			MAETP	5.2×10^3	8.6×10^2	8.2×10^3	6.5×10^2	6.5×10^2
			FSETP	4.9	1.8×10^1	2.3×10^{22}	1.3×10^1	1.3×10^1
			MSETP	5.3×10^3	8.8×10^2	8.4×10^3	6.7×10^2	6.7×10^2
			TETP	3.0×10^3	2.3×10^{19}	2.0×10^{18}	6.3×10^3	6.3×10^3
8	Cobalto	7440-48-4	HTP	6.5×10^2	2.1	1.0×10^1	5.1×10^3	3.0×10^2
			FAETP	7.7	2.8×10^1	3.5×10^{22}	2.1×10^1	2.1×10^1
			MAETP	2.1×10^4	3.4×10^3	3.3×10^4	2.6×10^3	2.6×10^3
			FSETP	2.0×10^1	7.1×10^1	9.1×10^{22}	5.4×10^1	5.4×10^1
			MSETP	2.1×10^4	3.5×10^3	3.4×10^4	2.7×10^3	2.7×10^3
9	Cobre	7440-50-8	TETP	3.0×10^3	2.3×10^{19}	2.0×10^{18}	6.3×10^3	6.3×10^3
			HTP	3.4×10^6	3.4	1.7×10^1	8.5×10^3	5.0×10^2
			FAETP	6.4×10^2	3.4×10^3	1.2×10^{18}	1.7×10^3	1.7×10^3
			MAETP	5.4×10^6	4.4×10^6	8.0×10^6	2.2×10^6	2.2×10^6
			FSETP	1.1×10^3	5.6×10^3	2.0×10^{18}	2.8×10^3	2.8×10^3
			MSETP	3.5×10^6	2.8×10^6	5.2×10^6	1.4×10^6	1.4×10^6
			TETP	1.1×10^2	2.7×10^{18}	4.9×10^{18}	2.2×10^2	2.2×10^2
			HTP	1.7×10^4	9.7×10^1	6.0×10^1	2.4×10^3	5.9×10^1
			FAETP	2.2×10^2	1.2×10^3	4.1×10^{20}	5.9×10^2	5.9×10^2
			MAETP	8.9×10^5	2.3×10^5	1.5×10^6	1.2×10^5	1.2×10^5
			FSETP	5.6×10^2	2.9×10^3	1.0×10^{19}	1.5×10^3	1.5×10^3
			MSETP	8.8×10^5	2.3×10^5	1.5×10^6	1.2×10^5	1.2×10^5
			TETP	7.0	4.1×10^{21}	2.5×10^{20}	1.4×10^1	1.4×10^1
			HTP	4.3×10^3	1.3	5.9	9.4×10^1	1.3

Huijbregts y colaboradores (2000) presentan el Potencial de Toxicidad de 181 sustancias referidas al compartimiento ambiental al que corresponden y la

categoría de impacto asociada. Estos valores son los utilizados en los cálculos correspondientes de la presente investigación (Tabla 8)

1.3.2. Limitaciones de un ACV. Origen de la incertidumbre

El núcleo característico de un ACV es pretender ser un estudio de naturaleza integral. Esta cualidad puede ser una gran ventaja pero a la vez su mayor limitación. La cantidad de datos y cuestiones a considerar en su ejecución puede ser practicable únicamente si se aplican ciertas simplificaciones (Guinee *et al.*, 2001a).

Esta característica determina que en el desarrollo de una metodología científica aplicada a un ACV siempre existan diferentes tipos de incertidumbres, las que se no pueden dejar de considerarse. Su origen puede ser atribuible a:

- Incertidumbres en los datos
- Incertidumbres con respecto al modelo, puesto que éste será siempre una representación de la realidad y no ella.
- Incertidumbres por insuficiencia

En teoría, las incertidumbres en los datos son relativamente fáciles de manejar puesto que pueden ser expresadas como una desviación estándar o de sector. Métodos estadísticos tales como las técnicas Monte Carlo pueden ser utilizados para manejar este tipo de incertidumbre y calcularla (Goedkoop, *et al.*, 2013).

La incertidumbre respecto a la exactitud del modelo es consecuencia de que al ser una simplificación de la realidad, cada uno de ellos la visualiza y reconstruye en forma particular. Esto da lugar a ciertas subjetividades en los desarrollos (Goedkoop, *et al.*, 2013), las que tienen que ver con:

- La representatividad: que expresa cuan representativos son los datos que se manejan en la modelización con respecto a la realidad, y qué importancia se le atribuye a su diferencia.
- Eventos a futuro: Refiere a aquellos productos que poseen larga vida y no se tienen certezas de cómo serán tratados sus desechos a futuro.
- Selección de la unidad funcional: que implica que en ciertos casos no está correctamente definida la base sobre la que se comparan los productos.

En cuanto a la incertidumbre respecto de la insuficiencia en los datos, refiere a la laguna en los datos, la que puede ser producto de:

- Una incorrecta determinación de los límites del sistema
- Datos incompletos o insuficientemente especificados
- Desigualdad entre el inventario y la determinación del impacto, por la ausencia de un factor de caracterización que lo incluya, lo que hace que sea desestimado al momento de la determinación mencionada.

En estos dos últimos tipos de incertidumbre, el análisis Monte Carlo es insuficiente, siendo necesario combinarlo con el análisis de sensibilidad (Goedkoop, *et al.*, 2013).

Este último se basa en un principio muy simple. Consiste en determinar las suposiciones más importantes consideradas en el estudio, cambiarlas, y recalcular el ACV. Con este tipo de técnica se puede visualizar y entender con mayor claridad la magnitud la importancia de las suposiciones introducidas en el cálculo.

1.4. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA CON SIMA-PRO

En los últimos años, y teniendo como base la metodología del ACV y las normas ISO que las regulan, se han desarrollado varios programas para

facilitar su cálculo. Gran parte de ellos incluyen bases de datos de inventarios públicos, los que varían en extensión y calidad de datos.

La lógica de los programas es, a partir de la introducción de los datos que conforman el inventario, la realización de los cálculos propios de la fase de AICV, obteniendo los resultados para las diferentes categorías de impacto seleccionadas. Algunos de ellos permiten también la selección del método de cálculo a emplear, entre otros parámetros de selección. También efectúan análisis de sensibilidad e incertidumbre.

Para llevar a cabo este trabajo se ha utilizado un programa desarrollado por la empresa holandesa Prè-Consultants denominado SimaPro 8, en su versión Faculty. La versión "Faculty" admite todas las facilidades del programa comercial, pero solo para fines didácticos y de estudio. En este sentido, el programa permite realizar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) mediante el uso de bases de datos de inventario creadas a partir de la información incorporada por el propio usuario y las bibliográficas que forman parte de las facilidades del programa. Dentro de ellas se pueden nombrar las proporcionadas por "Ecoinvent", las "Dutch Input Output Databases", las "USA input-output (IO) database", entre otras.

Las características principales del programa son la de poseer una interfaz intuitiva, varios asistentes de ayuda para guiar el proceso de ACV y la posibilidad de exportar procesos en tablas de tipo Excel o bases de datos. También permite calcular la evaluación de impacto en cada etapa del proceso, cálculo de la probabilidad de ocurrencia mediante el análisis de Monte Carlo, la representación gráfica de los procesos en forma de árbol de procesos, la incorporación de distintos escenarios de residuos, entre otras facilidades.

Capítulo 2

Tratamiento de las aguas residuales

2.1. NECESIDAD DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

La descarga de las aguas residuales sin tratamiento produce una serie de efectos negativos sobre los espejos de agua receptores, los que se pueden resumir en los siguientes (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla, CENTA, 2008):

- Aparición de fangos y flotantes: La parte sedimentable de los sólidos dispersos en el efluente produce sedimentos en el fondo del cuerpo receptor. Por su parte, la fracción no sedimentable puede acumularse en la superficie o en las orillas, formando capas flotantes. Este fenómeno provoca un aspecto desagradable visualmente.
- Agotamiento del contenido de oxígeno disuelto en el agua: Efecto de la degradación de la materia orgánica presente en el efluente producido por las bacterias aeróbicas, con el consiguiente consumo de oxígeno. Este agotamiento puede traer aparejada la pérdida de la vida acuática. Consumido el oxígeno disuelto, da lugar a procesos anaeróbicos de degradación, con la aparición de malos olores producto de la formación de gases, entre otros, ácido sulfhídrico.
- Aportes excesivos de nutrientes: Originados por el vuelco de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, lo que origina un crecimiento descontrolado de la flora del curso de agua receptor, produciendo el efecto conocido como eutrofización.
- Daños a la salud pública: por la llegada de microorganismos patógenos.

A fin de evitar los efectos negativos mencionados, surge la necesidad del tratamiento previo a su descarga a los cuerpos receptores. Las plantas depuradoras son las encargadas de reducir dicha carga de contaminantes, cuando la capacidad de autodepuración del ambiente es superada.

2.2. EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento consiste en un conjunto de operaciones mecánicas, físicas, biológicas y químicas cuya finalidad es eliminar la mayor parte de los contaminantes

presentes en el efluente previo a su descarga, asegurando que la carga remanente se ajuste a los niveles exigidos por la legislación y estén acordes a la capacidad autodepuradora de los cuerpos receptores.

2.2.1. Diferentes calidades de los efluentes

Sartor y Cifuentes (2012) clasifican las fuentes en:

Aguas residuales: son aquellos efluentes del sistema cloacal urbano o de sistemas productivos sin tratamiento previo.

Aguas depuradas: son aquellos efluentes que han sido sometidos a un tratamiento que les permite alcanzar parámetros de vuelco establecidos por la normativa correspondiente.

Aguas regeneradas: son las aguas residuales depuradas sometidas a procesos de tratamientos adicionales o complementarios que permiten adecuar su calidad al uso al que se destinan.

2.2.2. Procesos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

Las plantas convencionales poseen dos líneas de tratamiento, la de las aguas y la de los fangos o lodos. Mediante la primera se busca reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales y a través de la segunda se tratan los subproductos generados en la línea de agua (Figura 6).

ESQUEMA DE TRATAMIENTO

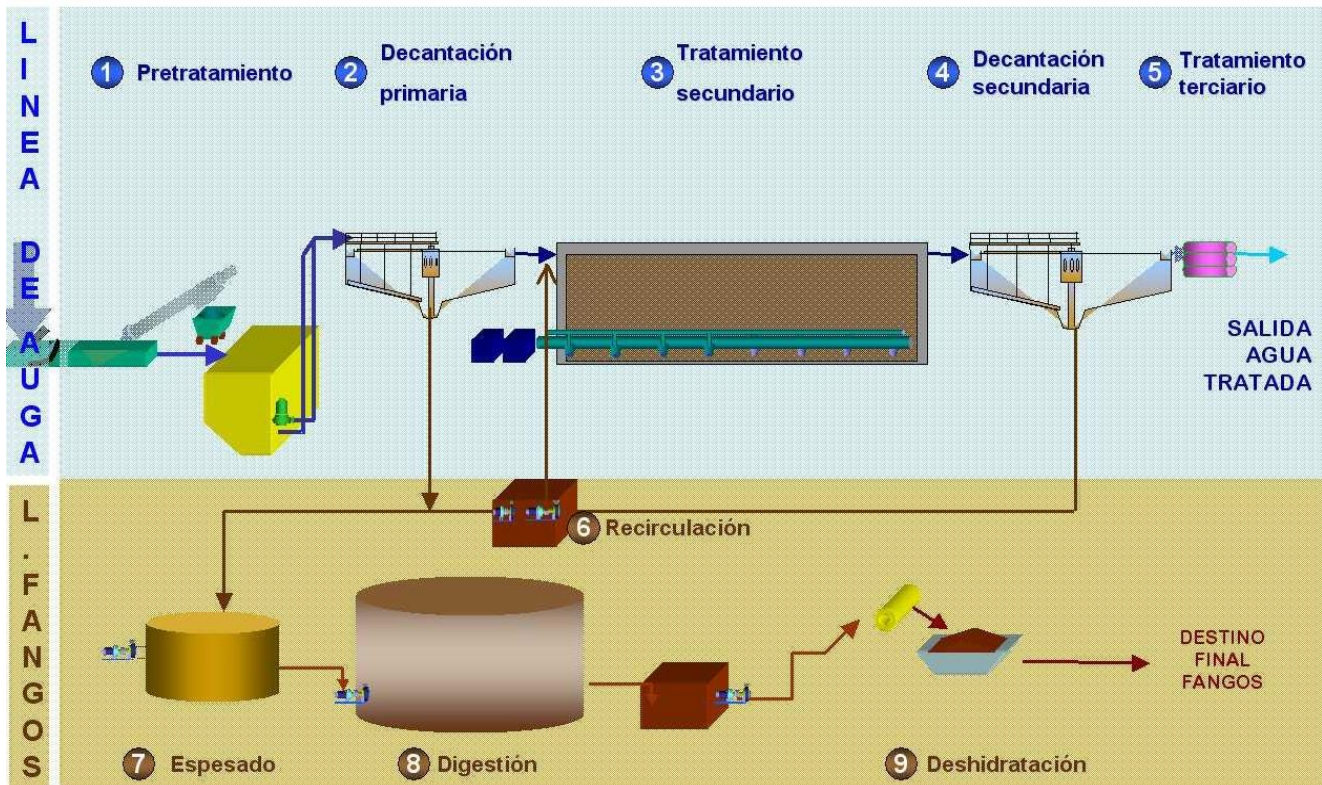


Figura 6 – Esquema de una planta de tratamiento de aguas residuales (Augas de Galicia, 2012)

2.2.2.1. Tratamiento de las aguas

PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
Objetivo Eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas	Objetivo Eliminación de materia sedimentable y flotante	Objetivo Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal	Objetivo Eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos
Operaciones básicas - Desbaste - Tamizado - Desarenado - Desengrasado	Operaciones básicas - Decantación primaria - Tratamientos fisico-químicos (coagulación-floculación)	Procesos básicos - Degradación bacteriana - Decantación secundaria	Procesos básicos - Floculación - Filtración - Eliminación de N y P - Desinfección
Procesos físicos	Procesos físicos y químicos	Procesos biológicos	Procesos físicos, químicos y biológicos

Figura 7 - Etapas de la línea de agua, ordenadas secuencialmente de izquierda a derecha, en el tratamiento de las aguas residuales (CENTA, 2008).

El tratamiento de la fracción acuosa de los efluentes puede dividirse en cuatro etapas. Los procesos a aplicar dependerán de la calidad del efluente al ingreso (Figura 7).

Pretratamiento:

Consiste en la preparación de las aguas con la finalidad de separar la mayor cantidad posible de materiales presentes en su seno, los que por su naturaleza o tamaño, puedan generar algún tipo de inconveniente en las etapas posteriores del tratamiento. Esta etapa del proceso comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, dentro de las cuales se encuentran la separación de grandes sólidos, desbaste, tamizado, desarenado y desengrase.

En cuanto al desbaste, el objetivo es la separación de los sólidos de pequeño y mediano tamaño (trozos de madera, trapos, raíces, etc.) que si no se los elimina en esta etapa podrían deteriorar o bloquear los equipos mecánicos y obstruir el paso de la corriente de agua en las etapas subsiguientes. El procedimiento más común para efectuar esta operación consiste en el pasaje del flujo de agua a través de rejillas de diferente separación, dependiendo del tamaño del material a separar (Figura 8).

El tamizado tiene la finalidad de reducir el contenido de sólidos en suspensión de las aguas residuales. Para ello se efectúa el filtrado del efluente utilizando diferentes tipos de tamices. Entre los más utilizados se encuentran los tamices estáticos auto-limpiantes, rotativos y deslizantes.

El desarenado consiste en la eliminación de materiales comúnmente llamados arenas - término que engloba a la arena propiamente dicha, grava, cenizas y cualquier otro elemento cuya velocidad de sedimentación o peso específico sea superior a la de los sólidos no putrescibles del agua residual. El objeto de este procedimiento es el de proteger a las bombas y otros elementos sensibles de la acción de la abrasión de este tipo de material (Figura 9).



Figura 8 – Rejas finas

Por último, el desengrasado se efectúa para remover las grasas y demás productos flotantes de menor peso que el agua. Los desengrasadores pueden ser de tipos estáticos o aireados. En plantas de tamaño medio-grande las etapas de desarenado y desengrasado se realizan en conjunto en unidades conocidas como desarenadores-desengrasadores aireados.



Figura 9 – Vista de un desarenador

Tratamiento Primario:

Es aquel mediante el cual se remueve una parte de los sólidos suspendidos y la materia orgánica presentes en el agua residual. Esta parte del tratamiento incluye procesos físicos (como la sedimentación y filtración) y químicos (mediante el agregado de productos químicos como floculantes, etc.) (Metcalf y Eddy, 2003).

Mediante esta parte del tratamiento, la DBO₅ de los efluentes de entrada se reduce, por lo menos, en un 20 por ciento a su salida. En cuanto a los sólidos en suspensión, la reducción llega al 50 por ciento (CENTA, 2008).

Como se explicó precedentemente, el objetivo principal del tratamiento primario es la eliminación de los sólidos en suspensión, a lo que se agrega una cierta reducción de la contaminación por materia orgánica. Los procedimientos más habituales del tratamiento primario incluyen la decantación primaria y los tratamientos físico-químicos.

Antes de realizar la decantación primaria sería conveniente llevar a cabo la homogeneización del efluente, la que consiste en amortiguar por laminación las variaciones de caudal, con el objeto de conseguir un caudal constante. Mediante este proceso se logra estabilizar las concentraciones de los diferentes constituyentes y amortiguar los caudales. Las principales ventajas de este proceso son:

- mejora el tratamiento biológico (dilución de sustancias inhibitoras, estabilización de pH)
- mejora la calidad del efluente y el rendimiento de los procesos secundarios.
- mejora los rendimientos de los filtros
- mejora el control de la dosificación de los reactivos, amortiguando las cargas aplicadas.

La decantación primaria está destinada a la eliminación de la mayor parte de los sólidos sedimentables. Mediante el tratamiento físico-químico aumenta la eliminación

de sólidos en suspensión por la formación de flóculos formados a partir de la incorporación de productos químicos destinados a tal fin.

Este último tratamiento se aplica cuando los efluentes contienen vertidos industriales que pueden afectar el tratamiento biológico a efectuar en la próxima etapa del proceso, para evitar sobrecargas en la misma etapa, excesiva diferencias estacionales del caudal o para la reducción del excedente de fósforo (CENTA, 2008).



Figura 10 – Decantador primario (CENTA, 2008)

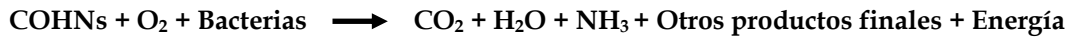
Tratamiento Secundario:

Mediante esta parte del proceso se remueve la materia orgánica biodegradable (en solución o suspensión) y los sólidos suspendidos no eliminados en los procesos anteriores (Figura 11). En tratamientos secundarios convencionales también puede incluirse la desinfección. Cuando el tratamiento incluye remoción de nutrientes, como fósforo o nitrógeno se lo denomina “tratamiento secundario con remoción de nutrientes” (Metcalf y Eddy, 2003).

La remoción de materia orgánica biodegradable se realiza utilizando microorganismos (principalmente bacterias) de tipo aeróbicos, que actúan sobre ella, degradándola.

El proceso comienza con la oxidación de la microbiota bacteriana, la que de esta forma, genera la energía para el mantenimiento celular.

Oxidación



Simultáneamente, otra parte de la materia se convierte en nuevas células (biosíntesis) a partir de la energía liberada en la fase de oxidación (CENTA, 2008).

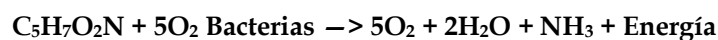
Síntesis celular



Las formulas precedentes simbolizan las transformaciones a que es sometida la materia orgánica, representada en forma genérica por su fórmula química como COHNs, por ser estos elementos los predominantes en ella, la que en presencia de oxígeno y la energía proveniente de la oxidación produce nuevas células, expresadas como C₅H₇O₂N.

En última instancia, cuando se consume la materia orgánica disponible que es alimento de los microorganismos, las células generadas comienzan a consumir su propio tejido celular, efecto conocido como respiración endógena.

Respiración endógena



El oxígeno necesario para asegurar que las reacciones sean de tipo aeróbicas se incorpora en forma forzada mediante la utilización de aireadores. Es por ello que los recipientes donde se llevan a cabo estas transformaciones se los denomina reactores biológicos o cubas de aireación.

Las células bacterianas formadas como consecuencia de las reacciones dentro de las cubas tienden a unirse y formar flóculos, agregados de mayor densidad que el líquido que los contiene, y en cuya superficie se adsorbe la materia en forma coloidal.

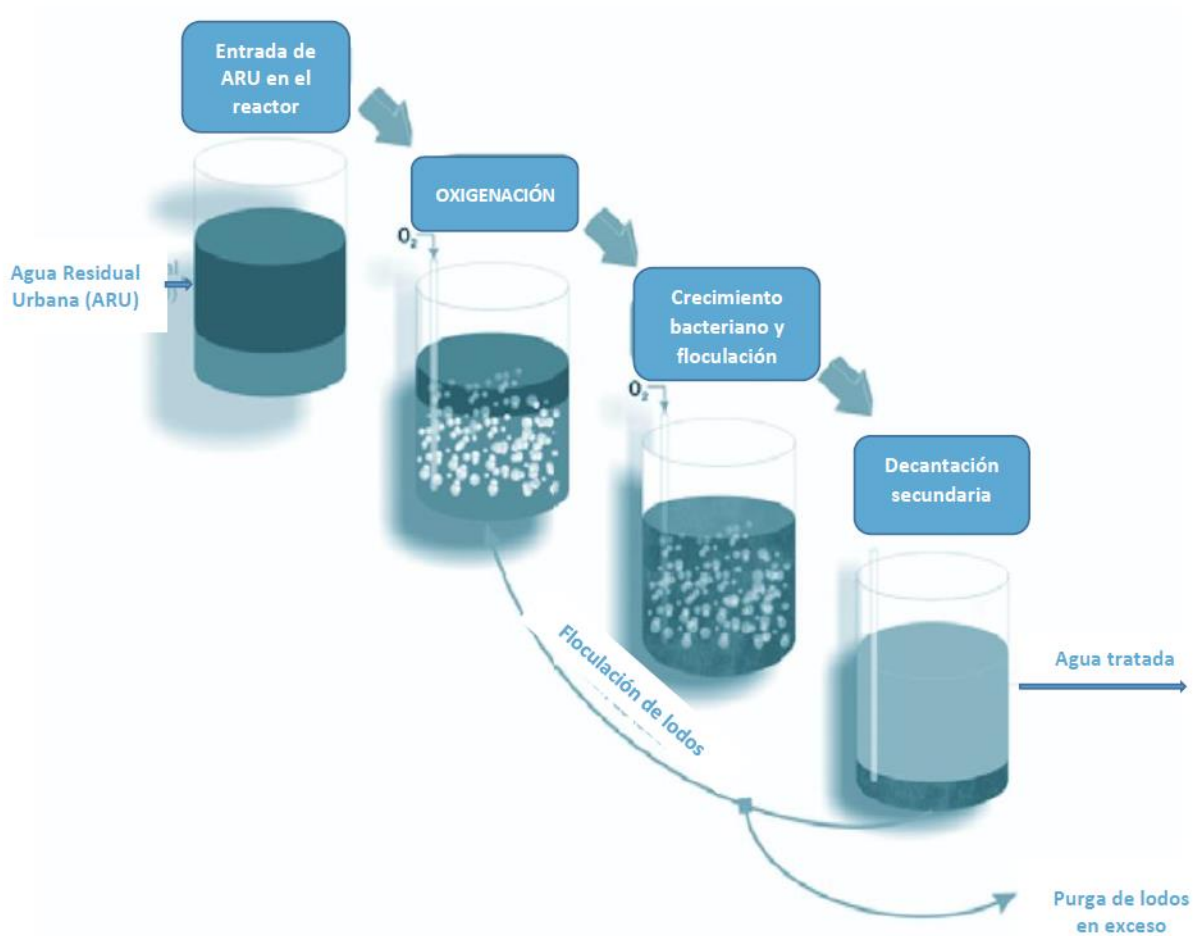


Figura 11 – Esquema básico del tratamiento secundario (CENTA, 2008)

La separación de estos lodos o fangos formados se produce en la etapa posterior, denominada decantación o clarificación secundaria (CENTA, 2008).

De estos lodos generados, la parte en exceso se la separa y se la envía al tratamiento de los fangos, mientras que otra parte es destinada a mantener la concentración de microorganismos necesaria para el funcionamiento correcto del sistema.

Tratamiento Terciario:

Consiste en la remoción de los sólidos suspendidos residuales no removidos durante el tratamiento secundario. Para efectuar este tipo de tratamiento se utilizan técnicas como la de mallas o micro filtrado. También se incluye la eliminación de nutrientes y la desinfección (Metcalf y Eddy, 2003).

La finalidad de esta etapa del proceso es la de obtener efluentes de mejor calidad que puedan ser vertidos en zonas donde las regulaciones son más exigentes o puedan ser regenerados.

La eliminación del material particulado y coloidal aún presente en los efluentes se logra mediante la utilización de tratamientos físico-químicos (coagulación y floculación, explicados precedentemente) y el posterior filtrado aplicando las técnicas de micro filtrado y mallas mencionadas.

Respecto a la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), son de aplicación los procesos biológicos desarrollados precedentemente. En el caso del nitrógeno, se procede en forma secuencial, en condiciones óxicas y anóxicas, lo que culmina con la liberación a la atmósfera de nitrógeno gaseoso. En el caso del fósforo, si bien son de aplicación los procesos biológicos mencionados precedentemente, la precipitación química mediante el empleo de sales de hierro y aluminio sigue siendo la técnica más utilizada (CENTA, 2008).

Con relación a la desinfección y eliminación de patógenos, el tratamiento de cloración sigue siendo el más utilizado, aunque por la necesidad actual de disminuir la cantidad de cloro residual en el efluente, ha sido preciso incorporar procesos de dechloración ó la sustitución de este tratamiento por la desinfección utilizando radiación UV, ozono o el empleo de membranas.

En cuanto a éstas últimas, los sistemas de ultrafiltración se utilizan para la eliminación de materia disuelta y coloidal mediante el empleo de membranas porosas. Estos sistemas, que utilizan presiones inferiores a 1.034 kN/m^2 , remueven, en función del tamaño del poro, sólidos suspendidos, bacterias, protozoos, virus, coloides y macromoléculas orgánicas. Éste tipo de tratamiento puede utilizarse en forma aislada, cuando la calidad del efluente así lo requiere, o como paso intermedio al proceso de ósmosis inversa (Figura 12)

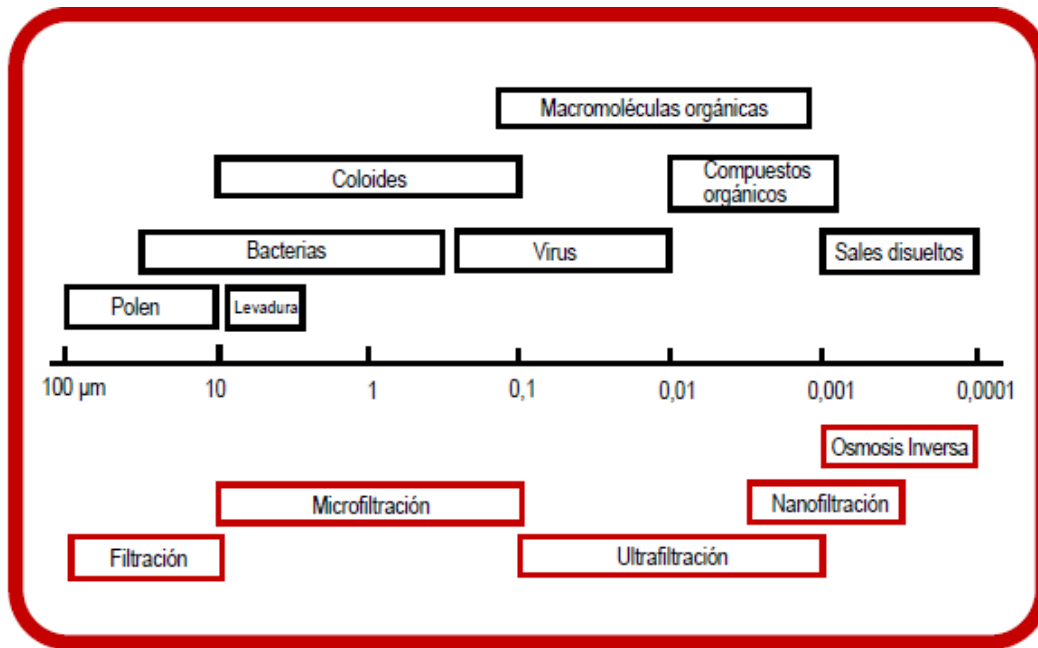


Figura 12 – Calidad de filtrado en función del tamaño del poro de la membrana (TOTAGUA, 2014)

A nivel técnico, consiste en impulsar el efluente a presión mediante bombas eléctricas a través de una membrana con un tamaño de poro de entre 0,1 y 0,01 micrones (Marín Ocampo y Osés Perez, 2013). Éste determinará hasta qué punto son eliminados los sólidos disueltos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias que son de menor tamaño que los poros serán retenidas parcialmente, dependiendo de la formación de la construcción de una capa de rechazo en la membrana. (Figura 13).

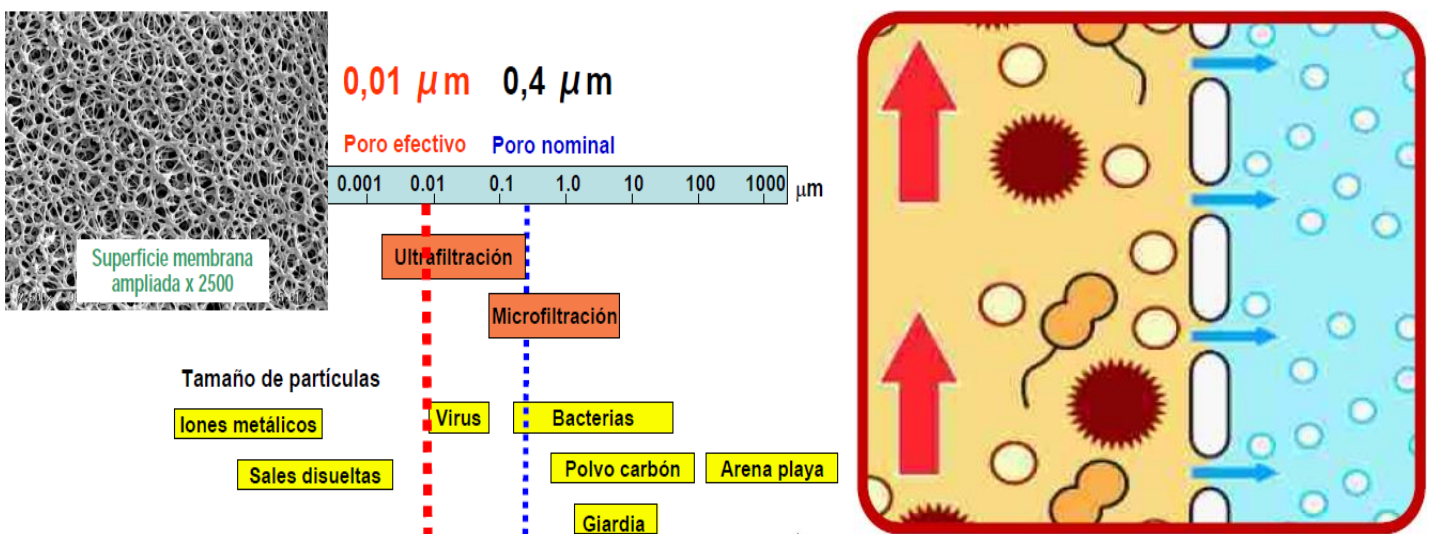


Figura 13 – Filtración mediante procesos de membranas (TOTAGUA, 2014)

Utilizando un sistema de tipo membrana externa, el efluente es bombeado mediante una bomba eléctrica a través de la membrana. Una parte del agua se filtra mientras que la otra se reenvía al reactor para que siga degradando las partículas orgánicas. Este tipo de membranas son tubulares y para evitar la colmatación de las membranas se realiza de forma automática un lavado a contracorriente en intervalos programados (Figura 14)

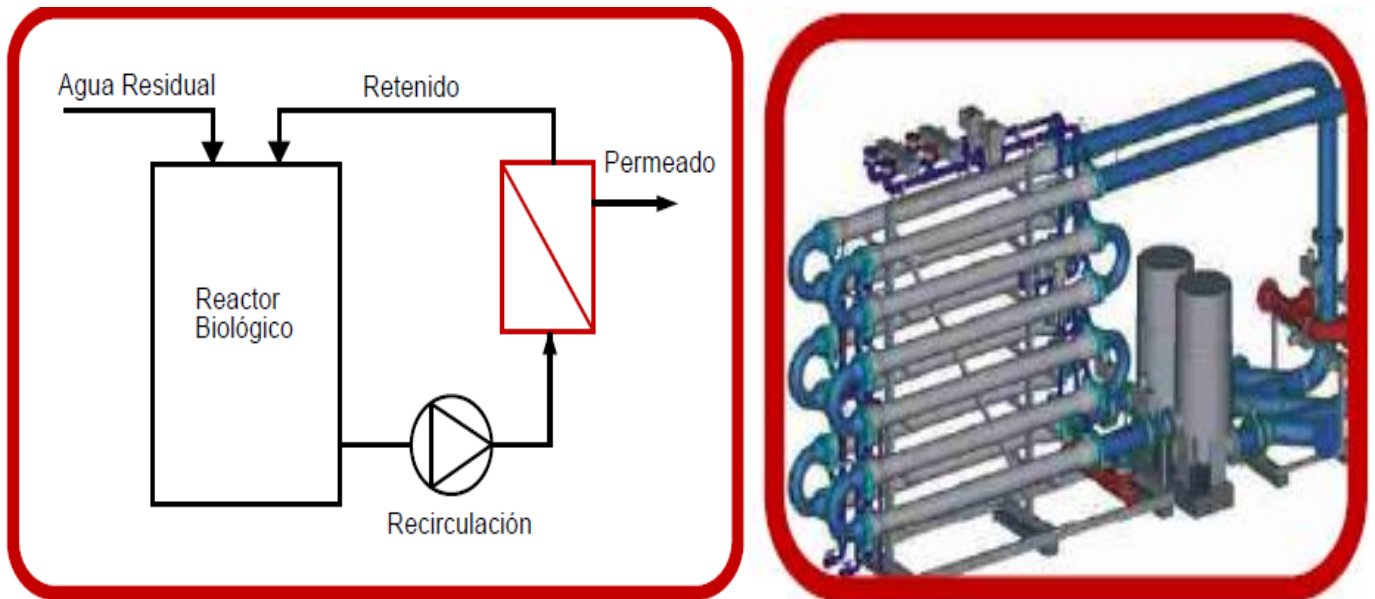


Figura 14 – Sistema de ultrafiltración por membrana externa (TOTAGUA, 2014)

El impulsor es una bomba eléctrica de baja presión, al igual que las de recirculación. El porcentaje de permeado alcanza el 95 % respecto al volumen total filtrado.

La ultrafiltración permite un efluente de mayor calidad que una depuración tradicional, con una reducción de hasta el 80 % de los fangos generados (TOTAGUA, 2014), un 90 % de sólidos suspendidos, un 87 % de la DQO, un 93 % en la DBO₅, un 14 % de sólidos disueltos y por encima del 90 % de virus y bacterias (coliformes fecales, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, etc.) (del Villar Garcia, 2010), con una calidad suficiente para ser tratado, a continuación, mediante un sistema de ósmosis inversa.

El objetivo del tratamiento de ultrafiltración previo al de ósmosis inversa es el de reducir al mínimo la presión de alimentación y los costos de la membrana, asociados al número de elementos necesarios, maximizando el rechazo de sales y la recuperación.

El diseño óptimo es influenciado por la importancia relativa de estos aspectos (por ejemplo, el de recuperación frente a los costos de membrana) relacionados, a su vez, con los parámetros de funcionamiento. En la práctica, normalmente el rechazo de sal buscado suele ser alcanzado, pero la recuperación deseada para un flujo determinado de permeado se ve afectada por muchos factores.

En caso de ser necesaria una mayor depuración, se aplica un tratamiento de ósmosis inversa (OI).

Este proceso, que se encuadra también dentro de los procesos de membrana, separa las sales disueltas en disolución mediante la filtración a través de una membrana semipermeable que elimina tanto las moléculas orgánicas como las inorgánicas, pero utilizando mayores presiones que para el resto de éste tipo de procesos.

Para diseñar un sistema de OI se debe comenzar priorizando la relación entre el flujo de permeado deseado y los parámetros de funcionamiento. Con ello se busca la optimización de los parámetros dentro de los límites físicos aceptables de diseño de los elementos de la membrana de ósmosis inversa, respecto a los parámetros del agua de alimentación (salinidad y ensuciamiento, entendiendo como tal a la captura de partículas tales como coloides inorgánicos y orgánicos, flóculos de hierro, sílice, arcilla y limo entre los inorgánicos y microorganismos entre los orgánicos).

Por ejemplo, la recuperación para un sistema del tipo de aguas residuales, limitado por la solubilidad de las sales poco solubles, podría alcanzar hasta un 88 % para el caso de múltiples etapas.

Sumado a ello deben considerarse los parámetros admisibles de cloro libre, pH y temperatura de acuerdo con el tipo de membrana que se utilice.

La Figura 15 representa esquemáticamente el proceso de la ósmosis inversa. En este proceso una membrana semipermeable, constituida por una capa soporte de 50 μm de espesor y una capa de barrera de 0,2 μm (membrana OI) se coloca entre dos compartimentos.

El fenómeno de la ósmosis se produce cuando el agua pura fluye, a través de la membrana, desde el compartimiento con la solución salina diluida al otro con una solución salina con mayor concentración que el anterior. El flujo de agua se detendrá cuando la presión de la columna de la solución salina sea igual a la diferencia de potencial químico entre las dos soluciones acuosas. El punto de equilibrio de la altura de la columna de agua en términos de presión de agua contra la membrana se llama presión osmótica.

Si se aplica una fuerza a esta columna de agua, la dirección del flujo de agua a través de la membrana se revierte. Este fenómeno se llama ósmosis inversa. Este flujo inverso produce agua pura a partir de la solución salina, ya que la membrana no es permeable a la sal (Saehan Industries, Inc., 2006).

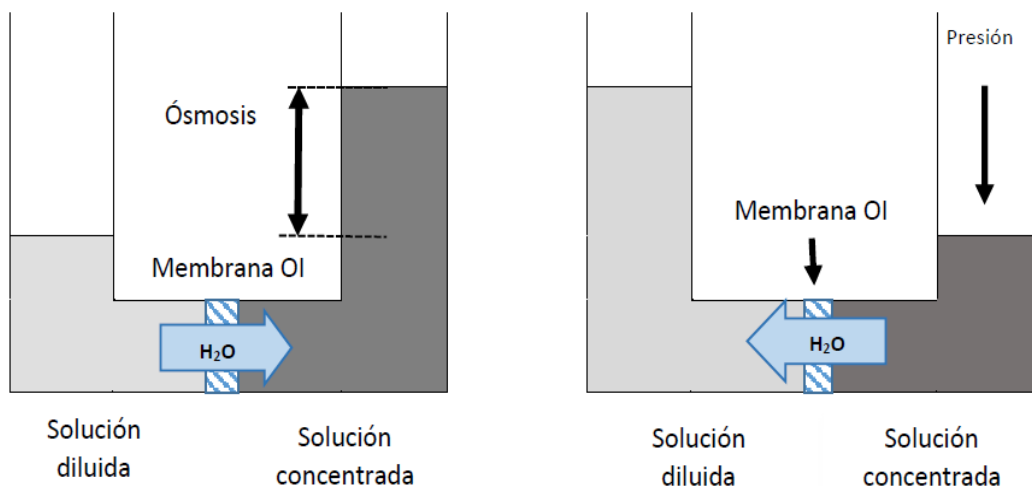


Figura 15 – Fenómeno de ósmosis inversa ((Saehan Industries, Inc., 2006)

Asimismo, y como en la fase retenida por las membranas se concentran las sustancias que son eliminadas del agua tratada, se debe evaluar la disposición final del

rechazo de los procesos de ultra filtración y ósmosis inversa (Figura 16) (Montserrat y Uribe Echevarría, 2013).

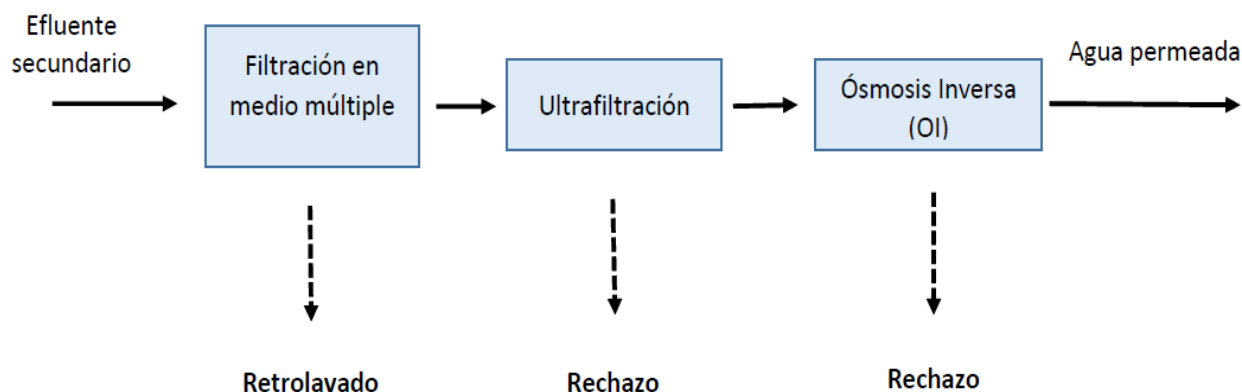


Figura 16 – Diagrama de flujo de los procesos de ultrafiltración y ósmosis inversa

Rendimiento de los tratamientos en la línea de agua

Los rendimientos medios esperables para los distintos procesos que conforman las tres etapas del tratamiento pueden apreciarse en la Tabla 9, elaborada por el Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla.

Tabla 9 – Porcentaje de reducción en función del tipo de tratamiento (CENTA, 2008)

	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (%)	DBO ₅ (%)	<i>Escherichia coli</i> (%)
Pretratamiento	5 – 15	5 – 10	10 – 25
Tratamientos primarios	40 – 70	25 – 40	25 – 70
Tratamientos secundarios	80 – 90	80 – 95	90 – 98
Tratamientos terciarios	90 – 95	95 – 98	98 – 99

2.2.2.2. Tratamiento de los fangos

El tratamiento de las aguas residuales trae aparejado la producción de una serie de subproductos, denominados lodos o fangos. Estos lodos reciben su nombre en función de la etapa del proceso en que son obtenidos, así se encuentran los “lodos

primarios”, producto de la decantación durante el tratamiento primario y los “lodos secundarios o biológicos” los que surgen como consecuencia de la decantación en el clarificador posterior a la salida del reactor biológico.

Los fangos son tratados en cuatro etapas, las que se reproducen en la Figura 17.



Figura 17 – Tratamiento de la línea de lodos (CENTA, 2008)

Espeamiento:

Es el proceso mediante el cual se incrementa la parte sólida del fango por la remoción de una parte de la fracción líquida. Los métodos más comunes de espeamiento son por gravedad, flotación y centrifugado. Esta disminución en el volumen acuoso del fango es beneficioso tanto para la disminución de los volúmenes a bombear, con su costo en cañerías, bombas y energía, como así también en los procesos subsiguientes en cuanto a la capacidad de tanques y equipamiento requeridos, productos químicos necesarios para el acondicionamiento y el calor a emplear para la deshidratación o incineración (Metcalf y Eddy, 2003).

Estabilización:

Este proceso está destinado a la reducción de los agentes patógenos, la eliminación de malos olores y la inhibición, reducción o eliminación de los elementos putrefactibles

presentes en la fracción sólida de las aguas residuales. La eliminación en mayor o menor medida de los elementos mencionados será función de los procesos de estabilización aplicados sobre la fracción volátil u orgánica de los sólidos y biosólidos presentes en el agua (Metcalf y Eddy, 2003).

Si no se actúa sobre las condiciones que favorecen el crecimiento de aquellos microorganismos generadores de los efectos mencionados no se logrará el efecto de su eliminación. Esto implica la eliminación de la fracción volátil de los compuestos presentes y el agregado de químicos que eviten la supervivencia de dichos microorganismos.

Los principales métodos de estabilización son (Metcalf & Eddy Inc., 2003; CENTA, 2008):

- Estabilización química o alcalina, mediante el agregado de cal (aumenta el pH del agua).
- Digestión aeróbica y anaeróbica, mediante la cual se elimina hasta el 50 % de la materia orgánica presente en el lodo. A su vez, los tratamientos anaeróbicos pueden realizarse a diferentes temperaturas:
 - a. digestión psicrófila, a una temperatura inferior a 20 °C.,
 - b. digestión mesófila, entre 30 y 40 °C,
 - c. y digestión termófila, entre 50 y 70 °C (Vega Rodríguez, 2010).
- Tratamiento térmico.
- Compostaje.

Acondicionamiento:

Son las técnicas empleadas para facilitar la deshidratación de los fangos, contribuyendo a la separación y eliminación del agua excedente. Los métodos más utilizados son mediante el agregado de productos químicos, aunque también puede emplearse calor (Metcalf y Eddy, 2003).

El acondicionamiento químico reduce entre el 65 a 85 por ciento del agua presente, llegando en algunos casos hasta el 90 y 99 por ciento, dependiendo de la naturaleza de los fangos a tratar. Los productos químicos facilitan la coagulación de los barros y la separación del agua excedente (Metcalf y Eddy, 2003).

Deshidratación:

Consiste en la separación física del agua contenida en los lodos, transformándolos en sólidos con características más adecuadas para su manejo y transporte.

Las razones que justifican este proceso son las siguientes, entre otras (Metcalf y Eddy, 2003):

- Disminución del costo de traslado a los sitios de disposición final de los fangos o biosólidos generados.
- Facilidad de manejo respecto al fango acuoso.
- Disminución del calor requerido para la incineración.
- Facilita el compostaje.

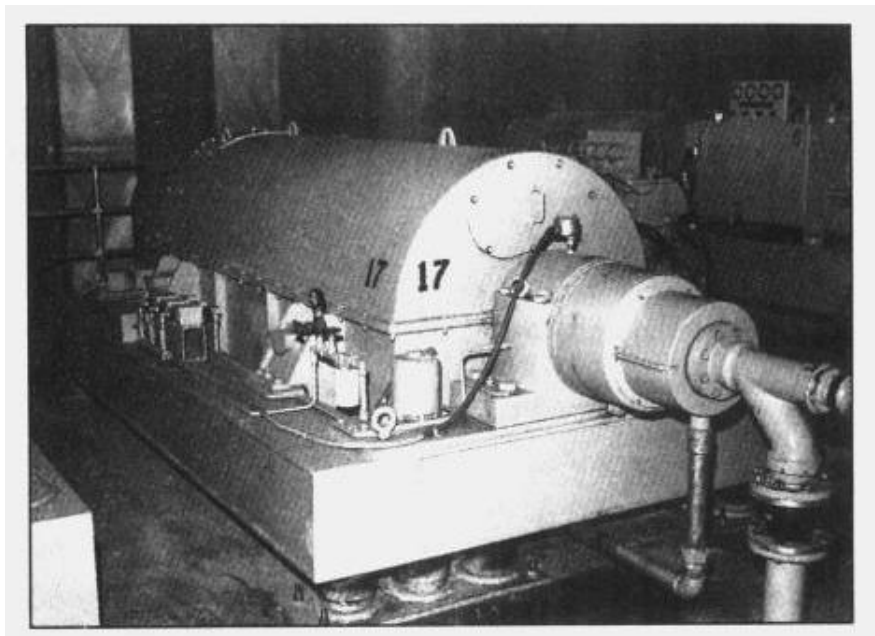


Figura 18 – Centrifuga para deshidratación de fangos (Metcalf y Eddy, 2003)

Las técnicas en uso para realizar la deshidratación son el centrifugado, el empleo de filtros de banda, secado térmico, lagunas, entre otros (Figuras 18 y 19) (Metcalf y Eddy, 2003).

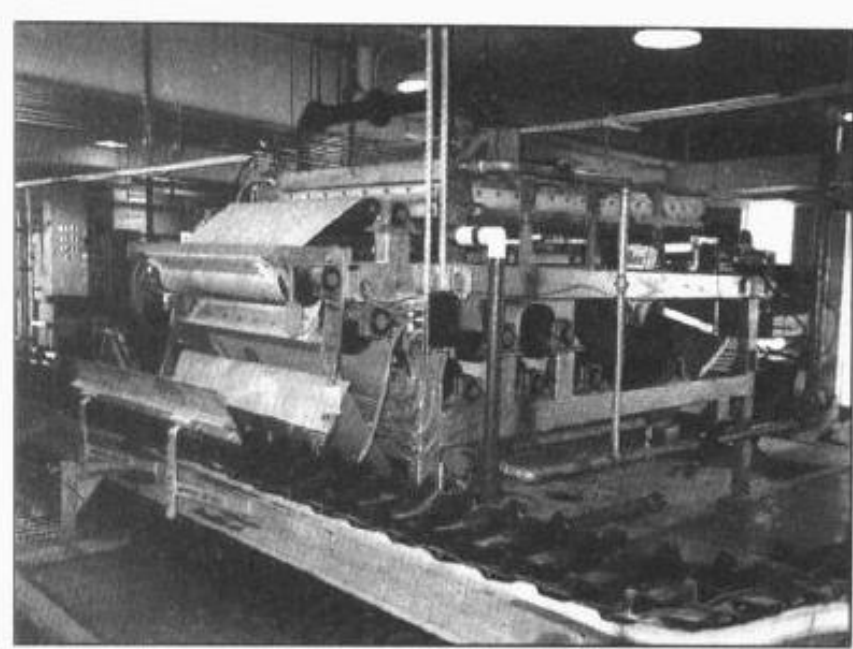


Figura 19 – Filtro banda (Metcalf y Eddy, 2003)

Compostaje:

El compostaje, considerado en ciertos casos como un post-tratamiento, está dirigido a la estabilización de los fangos. Mediante este tratamiento se obtiene un producto que puede ser utilizado como fertilizante, con una desecación media que alcanza hasta un 21 por ciento (Vega Rodriguez, 2010), agregándole valor a lo que hasta el momento era un desecho.

Mediante el compostaje la materia orgánica se descompone por la actividad aeróbica de los microorganismos dando lugar a un producto llamado compost con características similares al humus. Los fangos deshidratados se someten a este proceso durante aproximadamente 15 días para obtener un fertilizante apto para la agricultura y la jardinería. Se calcula que el producto resultante reemplaza al 50 % de su equivalente en fertilizante industrial (Vega Rodriguez, 2010) (Figura 20).

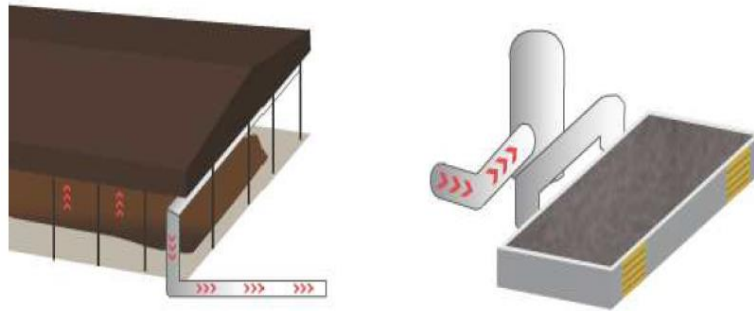


Figura 20 – Esquema e imagen planta de compostaje

2.3. MARCO REGULATORIO EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

La Ley Provincial N° 11.820 establece el marco regulatorio para la prestación de los servicios públicos de provisión de agua potable y desagües cloacales en el territorio de la provincia de Buenos Aires a fin de garantizar la protección de la salud pública, los recursos hídricos y el medio ambiente, evitando la aparición de los efectos negativos que sientan las bases respecto a la necesidad del tratamiento.

A tal efecto determina los parámetros de calidad que deben respetar los prestadores de ambos servicios. Además, por Resolución N° 336/2003, el Directorio de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires fija los límites admisibles de

descarga respecto a los incorporados en la ley, los que fijó en los valores detallados en la tabla 10.

Para cumplir con los objetivos fijados por la ley, y evitar los efectos adversos en el medio ambiente generados por la descarga de los efluentes cloacales, la disposición se produce a través de plantas de tratamiento de aguas residuales, aplicando tecnologías de las mismas características a las desarrolladas precedentemente.

Como se pudo ver, el diseño de cada una de estas plantas depende del tipo de efluente a ser tratado, principalmente en cuanto a sus condiciones físico-químicas, volumen y la calidad del efluente requerida.

Cabe aclarar que la ley no establece las tecnologías a aplicar al tratamiento y se limita a establecer los límites máximos admisibles para la descarga.

No obstante ello, y para cumplir con la reducción en los parámetros de descarga requeridos, las plantas de tratamiento convencionales se ajustan al tipo de tratamiento requerido para lograr los límites fijados.

Es importante señalar que los efluentes tratados en la Planta Depuradora Bahía Blanca son descargados al estuario de Bahía Blanca, considerado como cuerpo de agua superficial, y por ende se le deben aplicar los límites que a estos corresponden.

Asimismo, se deben tener en cuenta los límites que establecen ambos marcos regulatorios para este tipo de receptor, los que, siendo complementarios, no siempre son coincidentes, como puede verse en la Tabla 11. En tales casos, debe aplicarse el valor más exigente.

Tabla 10 – Parámetros de calidad de las descargas límites por Resolución N° 336/2003

GRUPO	PARÁMETRO	UNIDAD	CÓDIGO TÉCNICA ANALÍTICA	LÍMITES PARA DESCARGA:			
				Colectora cloacal	Cond pluv. o cuerpo de agua superf	Absorción por el suelo	Mar abierto
I	Temperatura	mg/l	2550 B	≤ 45	≤ 45	≤ 45	≤ 45
	Ph	mg/l	4500 H + B	7,0 – 10	6,5 - 10	6,5 - 10	6,5 - 10
	Sólidos sediment. 10 min	ml/l	Cono Imhoff	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
	Sólidos sediment. 2 horas	ml/l	Cono Imhoff	≤ 5,0	≤ 1,0	≤ 5,0	≤ 5,0
	Sulfuros	mg/l	4500 S=D	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 5,0	NE
	S.S.E.E.	mg/l	55 20 B	≤ 100	≤ 50	≤ 50	≤ 50
	Cianuros	mg/l	4500 CN C y E	≤ 0,1	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
	Hidrocarburos totales	mg/l	EPA 418 1 ó ASTM3921-85	≤ 30	≤ 30	Ausente	≤ 30
	Cloro libre	mg/l	4500 CI G (DPD)	NE	≤ 0,5	Ausente	≤ 0,5
	Coliformes fecales	NMP/100 ml	9223 A	≤ 20000	≤ 2000	≤ 2000	≤ 20000
II	D.B.O. 5	mg/l	5210 B	≤ 200	≤ 50	≤ 200	≤ 200
	D.Q.O.	mg/l	5220 D	≤ 700	≤ 250	≤ 500	≤ 500
	S.A.A.M.	mg/l	5540 C	≤ 10	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 5,0
	Sustancias fenólicas	mg/l	5530 C	≤ 2,0	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 2,0
	Sulfatos	mg/l	4500 SO4 E	≤ 1000	NE	NE	≤ 1000
	Carbono orgánico total	mg/l	5310 B	NE	NE	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	3500 Fe D	≤ 10	≤ 2,0	≤ 0,1	≤ 10
	Manganeso (soluble)	mg/l	3500 Mn D	≤ 1,0	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 10
III	Cinc	mg/l	3111 B y C	≤ 5,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 5,0
	Níquel	mg/l	3111 B y C	≤ 3,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 2,0
	Cromo total	mg/l	3111 B y C	≤ 2,0	≤ 2,0	Ausente	NE
	Cromo hexavalente	mg/l	3500 Cr D	≤ 0,2	≤ 0,2	Ausente	NE
	Cadmio	mg/l	3111 B y D	≤ 0,5	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
	Mercurio	mg/l	3500 Hg B	≤ 0,02	≤ 0,005	Ausente	≤ 0,005
	Cobre	mg/l	3500 Cu D ó 3111 B y D	≤ 2,0	≤ 1,0	Ausente	≤ 2,0
	Aluminio	mg/l	3500 Al D ó 3111 B y D	≤ 5,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 5,0
	Arsénico	mg/l	3500 As C	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 0,5
	Bario	mg/l	3111 B	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 2,0
	Boro	mg/l	4500 B B	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 2,0
	Cobalto	mg/l	3111 B y C	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 1,0	≤ 2,0
	Selenio	mg/l	3114 C	≤ 0,1	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
	Plomo	mg/l	3111 B y C	≤ 1,0	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1
	Plaguicidas organoclorados	mg/l	6630 B	≤ 0,5	≤ 0,05	Ausente	≤ 0,05
Plaguicidas organofosforados	mg/l	6630 B	≤ 1,0	≤ 0,1	Ausente	≤ 0,1	
IV	Nitrógeno total	mg/l	4500 N org B (NTK)	≤ 105	≤ 35	≤ 105	≤ 105
	Nitrógeno amoniacal	mg/l	4500 NH3+F	≤ 75	≤ 25	≤ 75	≤ 75
	Nitrógeno orgánico	mg/l	4500 N org B	≤ 30	≤ 10	≤ 30	≤ 30
	Fósforo total	mg/l	4500 PC	≤ 10	≤ 1,0	≤ 10	≤ 10

Tabla 11 – Comparación de los límites de descarga para la Ley Provincial N° 11820 y la Res. 336/03 del Directorio de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires a un cuerpo superficial de agua.

GRUPO	PARÁMETRO	UNIDAD	CÓDIGO TÉCNICA ANALÍTICA	MARCO REGULATORIO PARA CUERPO AGUA SUPERFICIAL	
				LEY 11820	RES. 336/03
	Temperatura	mg/l	2550 B	≤ 45	≤ 45
	pH	mg/l	4500 H + B	6,5 - 10	6,5 - 10
	Sólidos sedimentables 10 minutos	ml/l	Cono Imhoff	Ausente	Ausente
	Sólidos sedimentables 2 horas	ml/l	Cono Imhoff	≤ 1,0	≤ 1,0
	Sulfuros	mg/l	4500 S=D	≤ 1,0	≤ 1,0
	S.S.E.E.	mg/l	55 20 B	≤ 50	≤ 50
	Cianuros	mg/l	4500 CN C y E	≤ 0,1	≤ 0,1
	Hidrocarburos totales	mg/l	EPA 418 1 ó ASTM3921-85	≤ 30	≤ 30
	Cloro libre	mg/l	4500 Cl G (DPD)	≤ 0,5	≤ 0,5
Coliformes fecales	NMP/100 ml	9223 A	≤ 2000	≤ 2000	
II	D.B.O. 5	mg/l	5210 B	≤ 50	≤ 50
	D.Q.O.	mg/l	5220 D	≤ 250	≤ 250
	S.A.A.M.	mg/l	5540 C	≤ 2,0	≤ 2,0
	Sustancias fenólicas	mg/l	5530 C	≤ 0,5	≤ 0,5
	Sulfatos	mg/l	4500 SO4 E	NE	NE
	Carbono orgánico total	mg/l	5310 B	NE	NE
	Hierro (soluble)	mg/l	3500 Fe D	≤ 2,0	≤ 2,0
	Manganeso (soluble)	mg/l	3500 Mn D	≤ 0,5	≤ 0,5
III	Cinc	mg/l	3111 B y C	≤ 2,0	≤ 2,0
	Níquel	mg/l	3111 B y C	≤ 2,0	≤ 2,0
	Cromo total	mg/l	3111 B y C	≤ 0,5	≤ 2,0
	Cromo hexavalente	mg/l	3500 Cr D	≤ 0,2	≤ 0,2
	Cadmio	mg/l	3111 B y D	≤ 0,1	≤ 0,1
	Mercurio	mg/l	3500 Hg B	≤ 0,001	≤ 0,005
	Cobre	mg/l	3500 Cu D ó 3111 B y D	≤ 0,1	≤ 1,0
	Aluminio	mg/l	3500 Al D ó 3111 B y D	-	≤ 2,0
	Arsénico	mg/l	3500 As C	-	≤ 0,5
	Bario	mg/l	3111 B	-	≤ 2,0
	Boro	mg/l	4500 B B	-	≤ 2,0
	Cobalto	mg/l	3111 B y C	≤ 2,0	≤ 2,0
	Selenio	mg/l	3114 C	-	≤ 0,1
	Plomo	mg/l	3111 B y C	≤ 0,1	≤ 0,1
	Plaguicidas organoclorados	mg/l	6630 B	≤ 0,05	≤ 0,05
	Plaguicidas organofosforados	mg/l	6630 B	≤ 0,1	≤ 0,1
IV	Nitrógeno total	mg/l	4500 N org B (NTK)	-	≤ 35
	Nitrógeno amoniacal	mg/l	4500 NH3+F	≤ 25	≤ 25
	Nitrógeno orgánico	mg/l	4500 N org B	≤ 10	≤ 10
	Fósforo total	mg/l	4500 PC	≤ 1,0	≤ 1,0

Capítulo 3

Regeneración, Reciclado y Reúso de las aguas residuales

3.1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento continuo de la población, los requerimientos industriales en aumento y los períodos de sequía cada vez más frecuentes hacen necesario pensar en nuevas fuentes de agua para cubrir la demanda. El uso de los efluentes cloacales, actualmente procesados en las plantas de tratamiento y descargadas en forma directa al estuario de Bahía Blanca, de ser transformados en aguas regeneradas, pueden convertirse en un paliativo para la problemática planteada.

En la actualidad, varios son los países que utilizan las tecnologías de reúso como un elemento fundamental en el planeamiento y ejecución de políticas de gestión de los recursos hídricos. Cuando la reutilización es una opción viable, el desarrollo de tecnologías y su gerenciamiento deben estar enfocados en esa dirección, privilegiando su conservación.

La inclusión de planes de regeneración, reciclado y reúso en el sistema de gestión se ven reflejados no solo en la disponibilidad del recurso ante las crecientes demandas de agua de la sociedad, sino también en la aceptación social de los procesos y una correcta interpretación de los riesgos a la salud pública que pueden ocasionar.

3.2. APLICACIONES DE LAS AGUAS RESIDUALES REUTILIZABLES

Lo primero que debe tenerse en cuenta durante el planeamiento y la implementación de un sistema de regeneración y reúso de las aguas residuales, es la finalidad a la cual estará destinada el agua tratada, sopesando la protección de la salud pública y el medio ambiente, de donde surgirá el grado de complejidad a aplicar al proceso de tratamiento y operación.

Tabla 12 – Categorías de utilización de las aguas residuales regeneradas y posibles inconvenientes y limitaciones (Metcalf y Eddy, 2003)

CATEGORÍA	DESTINO	INCONVENIENTES/ LIMITACIONES
1. RIEGO AGRÍCOLA	<ul style="list-style-type: none"> - CULTIVOS - VIVEROS 	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminación superficial y subterránea si no es manejado correctamente - Mercadeo de los cultivos y aceptación del público.
2. IRRIGACIÓN PAISAJÍSTICA	<ul style="list-style-type: none"> - PARQUES - CAMPOS DE DEPORTES - BANQUINAS AUTOPISTAS - CANCHAS DE GOLF - CEMENTERIOS - CINTURONES ECOLÓGICOS - RESIDENCIAS 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectos sobre la calidad del agua, particularmente salinidad, sobre suelos y cultivos. - Salud Pública (virus, parásitos y bacterias). - Incremento en los costos de instalación de los sistemas si se necesitan establecer zonas de control o protección.
3. RECICLAJE Y REUSO INDUSTRIAL	<ul style="list-style-type: none"> - AGUA DE REFRIGERACIÓN - APARATOS DE PRESIÓN - AGUA DE PROCESOS - CONSTRUCCIÓN PESADA 	<ul style="list-style-type: none"> - Constituyentes del agua regenerada pueden producir incrustaciones, corrosión, aumento de organismos patógenos, etc. - Inconvenientes en la salud pública, principalmente en la transmisión de patógenos vía aérea provenientes del agua de refrigeración. - Contaminación del agua corriente por fugas en la línea de agua regenerada
4. RECARGA DE ACUÍFEROS*	<ul style="list-style-type: none"> - REABASTECIMIENTO DE ACUÍFEROS - CONTROL DE INFILTRACIÓN DE AGUA SALADA 	<ul style="list-style-type: none"> - Posible contaminación de acuíferos subterráneos utilizados para la provisión de agua potable. - Efectos tóxicos por la presencia de compuestos químicos no eliminados. - Sólidos totales disueltos, nitratos y patógenos presentes en el agua regenerada.
5. USO MEDIOAMBIENTAL Y RECREACIONAL	<ul style="list-style-type: none"> - LAGOS Y LAGUNAS - PANTANOS - ARROYOS - ESTANQUES - NATATORIOS 	<ul style="list-style-type: none"> - Problemas sanitarios por la presencia de bacterias y virus. - Eutroficación producto de los nitratos y fosfatos en el cuerpo receptor. - Toxicidad para la vida acuática.
6. USOS URBANOS NO POTABLES	<ul style="list-style-type: none"> - REDES DE INCENDIO - ENFRIADORES AIRE ACONDICIONADO - AGUA DE SANITARIOS 	<ul style="list-style-type: none"> - Salud pública respecto a la transmisión de agentes patógenos vía aérea. - Constituyentes del agua regenerada pueden producir incrustaciones, corrosión, aumento de organismos patógenos, etc. - Contaminación del agua corriente por fugas en la línea de agua regenerada
7. REUSO POTABLE*	<ul style="list-style-type: none"> - MEZCLADORES EN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA - PROVISIÓN DE AGUA A LOS SISTEMAS DUALES DE DISTRIBUCIÓN 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectos tóxicos por la presencia en el agua regenerada de trazas de compuestos orgánicos. - Aceptación pública del reúso de agua regenerada como agua potable. - Problemas sanitarios por la transmisión de agentes patógenos, en especial virus fecales.
<p>* Si bien los mencionados usos están contemplados dentro de las posibilidades de reutilización de las aguas regeneradas, la Provincia de Buenos Aires los prohíbe dentro de su legislación, razón por la cual se los excluye de los usos probables a contemplar.</p>		

En el “Manual de Ingeniería de las Aguas Residuales: Tratamiento y Reúso” (Metcalf y Eddy, 2003) se establecen siete categorías de aplicación para las aguas residuales regeneradas, las que se resumen en Tabla 12.

De las categorías descritas por Tchobanoglous y colaboradores (Metcalf y Eddy, 2003), la aplicación en riego agrícola, ya sea en cultivos o viveros, es en la actualidad el uso más difundido del agua regenerada.

Como puede apreciarse en la Tabla 12, el riego destinado a parques, jardines, campos de deporte, etc., ocupa el segundo término en importancia respecto al uso. En muchos casos se utiliza un sistema doble, mediante dos líneas de riego, una con agua potable y la otra con agua regenerada.

En tercer lugar se encuentra el uso industrial del agua regenerada, principalmente en enfriadores y agua de procesos. Las torres y piletones de enfriamiento son aplicaciones cada vez más difundidas para este tipo de agua. En ese sentido, los procesos industriales han variado con el tiempo y es de suma importancia que la provisión del agua regenerada cumpla con los estándares de calidad cada vez más rigurosos que exige la industria.

Si bien existen otras aplicaciones, las que pueden verificarse en la bibliografía de referencia, no serán consideradas a los fines del presente estudio por no ser de aplicación en ella.

3.3. CRITERIOS PARA EL USO Y MANEJO DEL AGUA REGENERADA. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD REQUERIDA EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA

La Agencia Medioambiental de Estados Unidos de América (Environmental Protection Agency - EPA) publicó, una serie de recomendaciones y criterios a tener en cuenta para el manejo del agua

regenerada dentro de los cuales indica la calidad requerida en función del uso al que estaría destinada.

Tales recomendaciones, compendiadas a manera de guía, fueron publicadas en las denominadas "*Guidelines for Water Reuse*" (US EPA, 2012), agrupadas en las siguientes categorías de reúso:

- Uso urbano (diferenciado en acceso irrestricto y restringido)
- Reúso agrícola (dividido en un uso dirigido a cultivos destinados a la alimentación y no destinados a la alimentación)
- Emprendimientos (divididos en aquellos que tienen libre acceso, de tipo recreacional, donde el agua está en contacto con el cuerpo humano y aquellos de acceso restringido, de tipo paisajístico, donde el contacto con el cuerpo humano es ocasional y limitado)
- Uso industrial
- Recarga de aguas subterráneas
- Reúso potable indirecto.

Para cada una de estas categorías, se establece el nivel de tratamiento a aplicar, calidad mínima del agua regenerada, monitoreos a efectuar y la distancia de seguridad de aplicación (Tabla 13).

No obstante lo indicado precedentemente, no en todos los países se utilizan los mismos criterios de reúso. Sin embargo, en todos prima el principio de protección de la salud pública como eje fundamental de todo emprendimiento. En los países desarrollados, estos criterios son establecidos en función de la disponibilidad del recurso y de los beneficios que puede reportar para la calidad de vida de los ciudadanos, sin dejar de tener en cuenta los grandes costos en infraestructura que implica su uso. En algunos casos no se cuenta con tales facilidades y en otros su uso es esencial como fuente de agua y otros usos, como su utilización como fertilizante.

Tabla 13 – Resumen de sugerencias de la EPA respecto del reúso del agua (US EPA, 2012)

NIVEL DE TRATAMIENTO	TIPO DE REÚSO	CALIDAD DEL AGUA REGENERADA	MONITOREOS	DISTANCIA SEGURA DE APLICACIÓN
TRATAMIENTO Terciario	USO URBANO	<p>pH = 6-9 DBO₅ ≤ 10mg/l Turbidez ≤ 2 NTU E. coli = no presente Restos Cl₂ ≤ 1 mg/l</p>	<p>pH = semanal DBO₅ = semanal Turbidez = continuo E. coli = diario Restos Cl₂ = continuo</p>	<p>15 m (50 ft) de la fuente de agua potable</p>
	RIEGO CULTIVOS ALIMENTICIOS			
TRATAMIENTO Secundario	EMPRENDIMIENTOS RECREACIONALES	<p>pH = 6-9 DBO₅ = 30mg/l SST = 30 mg/l E. coli = 200/100 ml Restos Cl₂ ≤ 1 mg/L</p>	<p>pH = semanal DBO₅ = semanal TSS = continuo E. coli = diario Restos Cl₂ = continuo</p>	<p>30 m (100 ft) de las áreas de acceso público 90 m (300 ft) de la fuente de agua potable</p>
	RIEGO ÁREAS DE ACCESO RESTRINGIDO			
	RIEGO CULTIVOS ALIMENTICIOS (CON TRATAMIENTO INDUSTRIAL)			
	RIEGO CULTIVOS NO ALIMENTICIOS			
	EMPRENDIMIENTOS DE ESPARCIMIENTO (DE ACCESO RESTRINGIDO)			
CONSTRUCCIÓN HUMEDALES				
<p>SST: Sólidos Suspendidos Totales DBO: Demanda Biológica de Oxígeno</p>				

En los países menos desarrollados, el inadecuado o no tratamiento de las aguas residuales y su utilización para ciertas tareas (como su empleo como fertilizante) puede ocasionar serios problemas a la salud pública, por la presencia de microorganismos patógenos (virus, bacterias o parásitos), los que se transmiten a los cultivos, a las personas que los consumen y a los trabajadores rurales que los cosechan (Jamwala y Mittal, 2010).

3.4.1. Reúso destinado al riego

La Organización Mundial de la Salud (WHO, 2006b) publicó una serie de recomendaciones sobre el uso de las aguas residuales para riego, agrupadas en cuatro aspectos de consideración, el tratamiento del efluente, restricciones sobre el tipo de cultivo a aplicar, métodos de aplicación y controles de la exposición humana.

Dentro de las recomendaciones del tratamiento, aconseja la utilización de las lagunas de estabilización como tratamiento adecuado de las aguas residuales para ser utilizadas en el riego de plantaciones de productos destinados a la alimentación humana, campos de deportes y parques públicos.

Por su parte, la Agencia Medioambiental de Estados Unidos de América (US EPA, 2012) recomienda que para implementar un sistema de irrigación para la agricultura es imprescindible identificar la sensibilidad o tolerancia de los cultivos presentes en la zona a los constituyentes del agua regenerada.

En este sentido, se puede indicar que los tipos y concentración de constituyentes del agua regenerada será función del sistema de distribución del agua, de la calidad del efluente al ingreso al tratamiento (porcentaje de contribución de aguas residuales domésticas e industriales), sistema de colección de los efluentes, los procesos de tratamiento e instalaciones de almacenamiento previos a la aplicación. Determinada la aplicabilidad de un sistema de irrigación mediante agua regenerada, es imprescindible determinar *in situ* las capacidades del terreno de aplicación antes de implementar un sistema de riego de esta naturaleza.

En Estados Unidos, la Food and Agriculture Organization (FAO) publicó una serie de recomendaciones que sirven de guía en cuanto a la aplicabilidad en el suelo teniendo en cuenta determinados elementos presentes en las aguas regeneradas (US EPA, 2012). La Tabla 14 resume tales recomendaciones, en forma de guía mediante la cual se pueden interpretar tales limitaciones.

Las restricciones al uso expresadas se dividen en tres grados de severidad: ninguno, leve a moderado y severo. Tal división es en ocasiones arbitraria, puesto que los cambios son graduales y no en puntos exactos. Cambios del 10 al 20 por ciento por encima o por debajo de los valores indicados en la tabla son poco significantes si se los compara con otros factores que producen efectos de mayor consideración.

Tabla 14 – Pautas a considerar para el riego en función de la calidad del agua¹ (US EPA, 2012)

PROBLEMA POTENCIAL PARA EL RIEGO	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN PARA EL RIEGO			
		NINGUNO	LEVE A MODERADO	SEVERO	
Salinidad (afecta la disponibilidad de agua para los cultivos) ²					
	EC _w	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
	SDT ⁶	mg/L	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltración (afecta la relación de infiltración del agua en el suelo usando EC _w y SAR juntas) ³					
SAR	0 – 3	y EC_w	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
	3 – 6		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
	6 – 12		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
	12 – 20		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
	20 – 40		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Toxicidad específica a iones (afecta la sensibilidad del cultivo)					
	Sodio (Na)⁴				
	riego superficial	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	riego por aspersión	me q/L ⁵	< 3	> 3	
	Cloro (Cl)⁴				
	riego superficial	me q/L	< 4	4 – 10	> 10
	riego por aspersión	me q/L	< 3	> 3	
	Boro (B)	mg/L	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Efectos diversos					
	Nitratos (NO ₃ N)	mg/L	< 5	5 – 30	> 30
	Bicarbonato (HCO ₃)	meq/L	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
	Ph		Rango normal 6,5 – 8,4		
¹ Adaptación de FAO (1985)					
² EC _w es la conductividad eléctrica, medida de la salinidad del agua, expresada en deciSiemens por metro a 25° C (dS/m) o en millimhos por centímetro (mmho/cm) ambos son equivalentes.					
³ SAR es la relación de adsorción del sodio. La SAR indica que si la relación de infiltración crece, la salinidad se incrementa.					
⁴ Para riego superficial, la mayoría de los árboles de cultivo y los para madera son sensibles al sodio y al cloro. Los cultivos anuales, en cambio, no son sensibles. En cuanto al riego por aspersión, con baja humedad (< 30 %), el sodio y cloro pueden ser absorbidos a través de las hojas de los cultivos sensibles.					
⁵ me q/L Miliequivalentes por litro (Indica los miliequivalentes por litro. Para obtener este valor se divide la concentración en mg/L por el Peso Equivalente, para el caso de los cloruros el Peso Equivalente es de 35,5 g)					
⁶ SDT: Sólidos disueltos totales.					

Estudios de campo, investigaciones de prueba y observaciones directas son herramientas de mayor peso que este tipo de guías, las que proporcionan una ayuda importante, pero la decisión de la aplicación debe ser considerada para cada caso en particular y producto de estudios propios para cada zona. Sin embargo, y a falta de tales estudios, los valores indicados pueden ser utilizados en zonas con humedad normal, hasta regiones semi-áridas a áridas (US EPA, 2012).

También deben considerarse los llamados nutrientes y elementos trazas presentes en las aguas regeneradas. Los nutrientes son aquellos elementos necesarios para el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales. Se pueden dividir en macro (primarios y secundarios) y micro nutrientes. Dentro de los macro nutrientes primarios se encuentran el nitrógeno, fósforo y potasio. Los secundarios incluyen el calcio, magnesio y sulfuros. Los micro nutrientes (boro, plomo, hierro, cloro, manganeso, molibdeno y cinc son elementos también esenciales para las plantas, pero en concentraciones muy pequeñas. Es por ello que cuando se refiere a ellos se los indica como “elementos traza” puesto que una excesiva concentración de ellos puede ser tóxico para el desarrollo vegetal.

Las concentraciones máximas permitidas de tales elementos en las aguas regeneradas, teniendo en cuenta una aplicación continua y a largo plazo de dichas aguas sobre el suelo, dependen de la capacidad de adsorción del terreno. La aplicación de dichos elementos por sobre los máximos permitidos produce toxicidad sobre los cultivos sembrados, dependiendo de la sensibilidad de tales cultivos.

La Tabla 15 muestra los criterios y lineamientos a considerar ante la presencia de elementos traza y nutrientes en el suelo (US EPA, 2012). Las recomendaciones son concebidas para suelos neutros a alcalinos y con alta capacidad de remoción de elementos contaminantes, aunque pueden ser de aplicación general. Asimismo, se basan en la aplicación continua y sustentable de agua regenerada y suponen el incremento de las concentraciones a corto plazo. También presenta los efectos del pH sobre el crecimiento de las plantas, en relación a la toxicidad por la presencia de metales.

Cabe aclarar que la recomendación para el uso de agua regenerada como agua de riego es con valores de pH de 6 a 8.

Tabla 15 – Criterios y recomendaciones respecto a la calidad del agua destinada al riego (US EPA, 2012).

ELEMENTO	MÁXIMA CONCENTRACIÓN PERMITIDA PARA EL USO EN RIEGO (mg/L)	COMENTARIOS
ALUMINIO (Al)	5,0	Puede causar improductividad en suelos ácidos, pero en suelos con pH de 5,5 a 8,0 precipita el ion y la toxicidad desaparece.
ARSÉNICO (As)	0,1	La toxicidad en plantas varía ampliamente, en rangos que van desde 12 mg/L para el césped de Sudan a menos de 0,05 mg/L para el arroz.
BERILIO (Be)	0,1	La toxicidad en plantas varía ampliamente, en rangos que van desde de 5 mg/L para el coliflor a menos de 0,5 mg/L para las chauchas.
BORO (B)	0,75	Esencial para el crecimiento de las plantas, suficiente cantidad en aguas regeneradas compensa las deficiencias de los suelos pobres. El rendimiento óptimo se obtiene con unos pocos décimos de mg/L. En cultivos sensibles como los cítricos es tóxico a partir de 1 mg/L. La mayoría de los céspedes tolerar rangos de entre 2,0 a 10 mg/L.
CADMIO (Cd)	0,01	Tóxico para los porotos, remolacha y nabo a concentraciones menores que 0,1 mg/L. Se recomienda utilizar como límite admisible el indicado como “máxima concentración permitida”
CROMO (Cr)	0,1	No siendo un elemento considerado necesario para el crecimiento de los vegetales. En tal caso se recomienda utilizar como límite admisible el indicado como “máxima concentración permitida”
COBALTO (Co)	0,05	Tóxico para el tomate a concentraciones de 0,1 mg/L.
COBRE (Cu)	0,2	Tóxico para ciertas plantas a concentraciones de entre 0,1 a 1,0 mg/L
FLUOR (F)	1,0	Inactivo para suelos neutrales y alcalinos.
HIERRO (Fe)	5,0	No es tóxico en suelos aireados, pero puede favorecer la acidificación del suelo y a la pérdida del fósforo y molibdeno.
PLOMO (Pb)	5,0	Puede inhibir el crecimiento celular de las plantas a concentraciones altas.
LITIO (Li)	2,5	Es tolerable para la mayoría de los cultivos a concentraciones de 5,0 mg/L. Es móvil en el suelo. Es tóxico para los cítricos a muy bajas dosis. El límite recomendado para estas especies es de 0,075 mg/L.
MANGANESO (Mn)	0,2	En suelos ácidos, tóxico para algunos cultivos desde unas pocas décimas a unos pocos mg/L.
MOLIBDENO (Mo)	0,01	No tóxicos para las plantas; puede ser tóxico para el ganado si el forraje se cultiva en suelos con alto molibdeno
NÍQUEL (Ni)	0,2	Tóxico para ciertas plantas a concentraciones de entre 0,5 a 1,0 mg/L. Para suelos con pH neutral a alcalino su toxicidad es reducida.
SELENIO (Se)	0,02	Tóxicos para las plantas en concentraciones bajas y para el ganado si el forraje si se cultiva en suelos con selenio, aun para niveles muy bajos.
ESTAÑO, TUNGSTENO Y TITANIO (Sn), (W) y (Ti)	-	Excluyente para las plantas. Niveles específicos de tolerancia desconocidos
VANADIO (V)	0,1	Tóxico para un gran número de especies vegetales a concentraciones relativamente bajas.
ZINC (Zn)	2,0	Tóxico para un gran número de especies vegetales a concentraciones muy variables. Reducida toxicidad con el incremento del pH (6 o superior) y en suelos muy finos u orgánicos.

3.4.2. Reúso industrial del agua regenerada

Tradicionalmente, la industria papelera, textil y otras con procesos similares utilizaban agua regenerada en sus torres de enfriamiento, siendo éstas las primeras en utilizarla. En la actualidad su uso se ha diversificado y es utilizado en una gran variedad de industrias y procesos, desde la electrónica a procesos en la industria alimenticia.

En los últimos años, estas industrias han adoptado el uso de aguas regeneradas para fines que van desde el agua de procesos, agua de alimentación de calderas, torres de refrigeración y generales tales como sanitarios y riego.

Por otra parte, las industrias y establecimientos comerciales que buscan certificación LEED (Leadership in Energy in Environmental Design) son impulsados a utilizar aguas regeneradas de manera de mejorar su "*perfil verde*". Asimismo, este tipo de instalaciones coinciden en que la regeneración del agua residual es una manera de sustituir el agua potable (y sus costos) sin afectar el rendimiento de los procesos (US EPA, 2012).

En sus orígenes, el agua regenerada utilizada con propósitos industriales (como la industria papelera y de la celulosa), era reusada utilizando circuitos cerrados dentro de la misma planta.

En ese sentido, las torres de enfriamiento, y la recuperación de aguas de alimentación de calderas siguen siendo los usos más difundidos.

Las torres de enfriamiento son sistemas de refrigeración que utilizan el agua regenerada para absorber el calor producto de los procesos y transferirlo por evaporación al medio. Si bien el agua de refrigeración normalmente es reciclada, deben reponerse las pérdidas no recuperadas. Para ello se utiliza el agua regenerada. También se la utiliza como alimentación cuando el agua del

sistema de refrigeración debe ser renovada para evitar las incrustaciones y la acumulación de sólidos disueltos.

Las torres de refrigeración presentan una muy alta eficiencia, con menos del 2 por ciento de pérdida de agua del circuito, por evaporación, por cada 6°C de disminución de temperatura del agua. Por tal motivo es muy reducida la necesidad de suplementar el sistema de flujo con agua regenerada (US EPA, 2012) No obstante ello, y producto de la evaporación, aumenta la concentración de sólidos disueltos y minerales (tales como calcio y magnesio insoluble, como así también el sílice y el aluminio), los que deben ser retirados o tratados para evitar la acumulación y daños en los equipos. El tratamiento del agua, normalmente mediante procesos de ablandamiento y filtración, se debe realizar previo a su disposición en las plantas de tratamiento de efluentes.

Sumado a ello, debe tenerse en cuenta que cualquier contaminación del agua de refrigeración por procesos de fuga y productos químicos también afectan su calidad. En este sentido, si bien el agua regenerada tiene, por lo general, muy baja concentración de microorganismos debido al alto nivel del tratamiento, uno de los principales problemas que puede aparecer es el crecimiento biológico por la presencia de nutrientes no eliminados.

En cuanto al agua regenerada utilizada como alimentación de calderas, por regla general, difiere muy poco del destinado al uso como agua potable, puesto que en ambos casos requieren de un tratamiento terciario. No obstante ello, la calidad del agua para calderas depende de la presión de trabajo a la que estará sometida, siendo las más altas las que requieren mayor calidad.

La Asociación Americana de Fabricantes de Calderas (American Boiler Manufacturers Association - ABMA) determinó los límites máximos recomendados de calidad de agua para calderas en función de la presión de trabajo, valores que se expresan en la Tabla 16 (US EPA, 2012).

Tabla 16 – Recomendación para el vapor de agua a presión (US EPA, 2012)

Presión de funcionamiento (PSIG)	0-300	301-450	451-600	601-750	751-900	901-1000	1001-1500	1501-2000	OTSG
VAPOR									
SDT máx. (ppm)	0,2-1,0	0,2-1,0	0,2-1,0	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1	0,1	0,5
AGUA DE CALDERA									
Alcalinidad máx. (ppm)	700-3500	600-3000	500-2000	200-1000	150-750	125-625	100	50	0,05
SST máx. (ppm)	350	300	250	200	150	100	n/a	n/a	n/a
Conductividad máx. (µmho/cm)	1100-5400	900-4600	800-3800	300-1500	200-1200	200-1000	150	80	0,15-0,25
Arena (ppm SiO₂)	150	90	40	30	20	8	2	1	0,02
AGUA DE ALIMENTACIÓN (Condensada y recuperada después del desgasificador)									
Oxígeno disuelto (en ppm O₂)	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	n/a
Hierro total (ppm Fe)	0,1	0,05	0,03	0,025	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
Cobre total (ppm Cu)	0,05	0,025	0,02	0,02	0,015	0,01	0,01	0,01	0,002
Dureza total (ppm CaCO₃)	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,05	n/d	n/d	n/d
pH a 25 °C	8,3-10,0	8,3-10,0	8,3-10,0	8,3-10,0	8,3-10,0	8,8-9,6	8,8-9,6	8,8-9,6	n/a
COT no volátiles (ppm C)	1	1	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	n/d
Sustancias aceitosas (ppm)	1	1	0,5	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2	n/d
SDT: Sólidos Disueltos Totales SST: Sólidos Suspendidos Totales COT: Carbono Orgánico Total PSIG (Pound Square Inch gauge): Libra por pulgada cuadrada relativa o manométrica OTSG (Once Through Steam Generators): Generador de vapor de un solo paso.									

Capítulo 4

Metodología

4.1. METODOLOGÍA Y UNIVERSO DE ESTUDIO

Para la concreción del presente trabajo se utilizó el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) como metodología para comparar dos procesos para el tratamiento de las aguas residuales.

El universo de estudio incluyó las aguas residuales desde su ingreso a la Planta Depuradora Bahía Blanca hasta su descarga en el estuario, los que se plantearon como límites del sistema para la aplicación de la metodología del ACV.

Mediante ésta metodología se analizó el Ciclo de Vida completo del proceso de tratamiento de los efluentes cloacales ingresados en la Planta de Tratamientos Bahía Blanca, en las condiciones actuales de trabajo, comparando dicho proceso con uno que incluya, un tratamiento primario, secundario y terciario en una planta modelada a tal efecto.

Es importante recalcar que dicha herramienta permitió calcular el impacto generado por la aplicación de estas tecnologías al sistema de tratamientos, y la comparación de la situación actual respecto de la posterior a la implementación de un sistema que incluya hasta el tratamiento terciario a fin de determinar el efecto contributivo al medioambiente de los aportes para ambos sistemas

El presente estudio se propuso investigar y comparar los beneficios ambientales de la regeneración y reutilización de los efluentes cloacales producidos en la cuenca Grande de Bahía Blanca y volcados al estuario a través de la Planta Depuradora Bahía Blanca, respecto a las condiciones actuales de descarga.

Cabe mencionar que el uso principal para el cual estaría destinada el agua regenerada sería, en principio, para cubrir la demanda de las industrias del Polo Petroquímico. El excedente, de haberlo, y teniendo en cuenta la calidad del agua obtenida, sería destinado al riego.

4.2. FUENTES

Antes de enunciar las fuentes que sirvieron de sustento a la presente investigación deben diferenciarse aquellas que son parte de la metodología de la investigación de las que conforman el ACV.

No obstante, en algunos casos son coincidentes. Es por ello que a continuación serán expuestas cada una de ellas.

4.2.1. Fuentes primarias

Se realizó un relevamiento de la información disponible, mediante la recopilación de trabajos en los que se aplicó la metodología del ACV a procesos similares, y a los estudios realizados en el área, su lectura y selección.

También se contó con los datos de los residuos finales de la Planta Depuradora Bahía Blanca recabados por el Comité Técnico Ejecutivo (CTE) durante las campañas de muestreo de mayo, agosto y noviembre de 2011 y marzo de 2012 y presentados en informes (Montserrat y Uribe Echevarría, 2013).

Se contó con los datos del último "Informe Final del Sector Eléctrico dependiente del Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios - Secretaria de Energía - Dirección Nacional De Prospectiva", de fecha 2012.

Los datos de monitoreos y potencia instalada extraídos del informe mencionado en el párrafo anterior fueron las bases para la confección de las tablas de parámetros de entrada y salida de la planta y como datos de primer plano a ingresar para la confección del inventario del ACV.

Si bien los volúmenes de tratamiento no son datos propios, y eso teóricamente no se considerara una fuente primaria, sí puede considerarse un dato de primer plano a los fines del inventario del ACV, puesto que resultan de mediciones y cálculos como parte del Informe "Evaluación de reúso de los efluentes cloacales de la cuenca hídrica de Bahía Blanca, con destino agrícola y/o industrial" (Montserrat y Uribe Echevarría, 2013)

Se realizaron visitas a las inmediaciones de la planta de tratamiento, sin embargo no se pudo ingresar a la misma ni se tuvo acceso a la información, salvo la derivada de los informes mencionados, a pesar de las reiteradas e insistentes solicitudes gestionadas a través de las páginas habilitadas por ABSA a tal efecto, ni por comunicación interpersonal con diferentes autoridades de la empresa a nivel local. No obstante ello, pudo continuarse la investigación mediante cálculo.

4.2.2. Fuentes secundarias

Como fuentes secundarias se utilizó la legislación aplicable para la Provincia de Buenos Aires respecto de la gestión y límites admisibles para la descarga de efluentes.

Se realizó una recopilación de la metodología aplicable al ACV, seleccionando el método CML 2001- Baseline.

Se recopiló cartografía como mapas de ubicación geográfica de la localidad, asistentes de geo posicionamiento para la ubicación de los puntos destacables y su ubicación, valiéndose de las aplicaciones del programa informático Google Earth.

Se contó con la información estadística de registros poblacionales obtenidas de la página web del INDEC.

Asimismo, se realizó un relevamiento de los proyectos de infraestructura para el tratamiento de efluentes cloacales y el sistema de vertido a cuerpos receptores (agua o suelo) con la finalidad de evaluar su comportamiento ambiental.

Por último, se valió de las bases de datos sobre procesos complementarios para la confección del inventario necesario para la realización del ACV, de características similares a los aplicables a procesos de tratamiento de efluentes que se incluyen dentro del programa SimaPro 8.

4.3. INSTRUMENTOS

Para efectuar el Análisis del Ciclo de Vida se contó con un instrumento informático, el SimaPró 8, de la firma holandesa PRé Consultants. Dicho software permitió efectuar la evaluación de impacto del sistema en estudio, aplicando el método seleccionado para la determinación del ACV (CML 2001- Baseline).

Es importante señalar nuevamente que se trabajó con modelos, lo que implica asumir que tales modelos son una simplificación de la realidad, y no una fotografía de ella. A partir de esta realidad “acotada”, resulta posible, con un limitado margen de error, hacer el cálculo del ACV, de tal forma que las simplificaciones y las tergiversaciones relacionadas no influyan de manera relevante en el resultado.

Teniendo en cuenta las consideraciones propias de lo que implica un ACV señaladas, se definieron los objetivos y alcances del ACV, como así también la unidad funcional que serviría de referencia al estudio.

4.3.1. *Definición del objetivo y alcance del ACV – Unidad Funcional*

En ese sentido, y establecido el objetivo general del presente trabajo, mediante el cual se pretendió determinar los beneficios de la reutilización de los efluentes cloacales regenerados producidos en la Planta Depuradora Bahía Blanca y descargados en las aguas costeras, se fijó el objetivo del ACV.

El mismo, contribuyente al objetivo general del trabajo, consistió en comparar los procesos efectuados en la Planta Depuradora Bahía Blanca en las condiciones actuales de trabajo respecto de otra en la que se incluyó un tratamiento primario, secundario y terciario, determinando si la regeneración propuesta implica un mejor comportamiento ambiental del proceso.

Se determinó como Unidad Funcional, el metro cúbico de efluente urbano en la descarga de la Planta.

4.3.2. Límites del sistema

Se tomó como punto de inicio del sistema el ingreso a la Planta (Figura 23) de los desagües domiciliarios colectados por la red pública sanitaria en su cuenca correspondiente y su término a la salida de la Planta Depuradora, en el punto de vuelco sobre el estuario bahiense.

Como se explicó con anterioridad, éste tipo de ACV es de "*gate to gate*", ya que sólo se tienen en cuenta los impactos desde la entrada hasta la salida del mismo, sin tener en cuenta la extracción de agua previa, la potabilización, la recolección de las aguas residuales, etc.

El proceso comienza a la entrada de la Planta con la eliminación de los residuos retenidos en el sistema de rejas o desvaste y filtros rotativos anteriormente descritos. Estos sólidos deberían ser recolectados y tratados como residuos sólidos.

Si bien esta separación forma parte del proceso, no se ha tenido en cuenta a los fines del cálculo del impacto total de la planta por no contarse con datos respecto a su cantidad y composición, como así tampoco la certeza respecto de su tratamiento.

No obstante ello, no haber considerado tal parte del proceso, si bien influye en el impacto total de cada uno de ellos, no lo hace en la comparación entre sí puesto que hasta esa etapa del proceso ambos son idénticos.

Luego de pasar por los filtros rotativos, las aguas residuales son bombeadas a la salida de la planta mediante el uso alternativo de 6 bombas hidráulicas tipo Flygt de 1000 m³/h cada una, y descargadas al estuario local.

4.3.3. *Inventario del Ciclo de Vida*

Determinados los límites del sistema, se confeccionó el inventario mediante la recopilación de los datos de salida del sistema que permitieron al programa de cálculo identificar y cuantificar todos los efectos adversos asociados a la unidad funcional (u.f.) establecida. Tales datos fueron aportados por los informes producidos por el Comité Técnico Ejecutivo (Montserrat y Uribe Echevarría, 2013).

Es importante recalcar que a los fines del presente estudio, y teniendo en cuenta que la planta en las condiciones actuales de trabajo no realiza más tratamiento que el de la separación de los sólidos en suspensión retenidos en las rejillas de desbaste, los valores de salida medidos son los mismos que los de ingreso al sistema.

Asimismo debe considerarse que para la confección del inventario deben asignarse las emisiones al aire, al agua y al suelo a diferentes sub-compartimientos ambientales. Para el caso de las descargas al agua, el programa de cálculos considera como cuerpos receptores genéricos (sub-compartimientos ambientales) al océano, ríos, lagos y aguas subterráneas. Teniendo en cuenta que no se contemplan los estuarios, y que para la legislación la zona de descarga es considerada como un cuerpo de agua superficial, se consideró como sub-compartimiento ambiental "Río". Cabe aclarar que habiendo hecho la comparación para el caso de la asignación de "océano", las diferencias no son de consideración. No obstante ello, la comparación se incluye como Anexo 1 a la presente investigación.

Los parámetros de calidad considerados surgen del listado establecido como límites admisibles de descarga por la Ley Provincial N° 11.820 y el Resolución N° 336/2003 del Directorio de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (Ver Tabla 11, Capítulo 2 - Tratamiento de las Aguas Residuales).

Los valores indicados corresponden al promedio general de cada parámetro de las cuatro campañas. Dado que algunos de ellos poseían resultados menores al Límite de Detección (< LD), se aplicó la metodología de la EPA en "Data Quality Assessment Statistical Methods for Practitioners" (QA/G-9S EPA/240/B.06/003-feb.2006), "Guía para análisis de datos con valores no detectables". Se han desestimado aquellos analitos cuyas mediciones arrojaron valores por debajo del límite de detección en las cuatro campañas.

El caudal considerado para el cálculo fue el determinado como el caudal medio incluido en la Segunda Etapa - Tercer Informe: Evaluación de los Resultados Fisicoquímicos (Cifuentes, *et al.*, 2014) , el que indica un caudal medio de 1750 m³/h. La electricidad consumida surge del cálculo del promedio de utilización de las bombas hidráulicas de bombeo a lo largo del día para ese caudal. No se tuvo en cuenta la electricidad utilizada en la operatoria de la Planta en cuanto a iluminación y demás consumos. Así, se consideró la utilización de 2 bombas Flygt Modelo H 5570 (XILEM, 2013) de 1000 m³/h de capacidad en forma continua y una tercera, a medio tiempo, para la absorción de los picos.

A los parámetros de calidad del efluente a la salida, considerados como emisiones al agua, deben sumarse las entradas al sistema como materiales, tal el caso de las sales de aluminio utilizadas como coagulante (hidróxido de aluminio) y el floculante del tipo polielectrolito (acrynolitriple).

También deben considerarse aquellos elementos que el programa denomina "productos evitados". Los mismos son aquellos materiales o procesos que se evita producir o fabricar (de allí su denominación), como consecuencia del proceso analizado. Tal es el caso de los fangos que sirven de reemplazo a cierto tipo de fertilizante (compost) como el mismo producto del proceso, el agua regenerada, que disminuye la explotación de agua cruda del dique en igual proporción que la regenerada.

En los casos que no se contó con datos de campo se utilizaron las bases de datos que el software SimaPro posee para procesos similares. Tal fue el caso del proceso de obtención de electricidad correspondiente al sistema interconectado nacional hasta llegar a la planta de tratamientos, donde los datos para el cálculo fueron obtenidos en función de la generación eléctrica a nivel nacional (Secretaría de Energía - Subsecretaría de Energía Eléctrica - Dirección Nacional de Prospectiva, 2012).

Teniendo en cuenta dichas consideraciones, el consumo eléctrico se calculó de la siguiente manera:

I. Caudal promedio: 1750 m ³ /h	
II. Bomba Flygt: Potencia 250 Kw.	
III. Consumo trabajando al 80 % de su capacidad = 200 kw-h	
IV. Consumo/hora x 2,5 (2 bombas continuo y 1 a medio tiempo) = 500 kw-h	
V. Consumo/ m ³ de efluente tratado =	$\frac{\text{consumo}}{\text{caudal}} = \frac{500 \text{ kw-h}}{1750 \text{ m}^3/\text{h}}$
Consumo eléctrico [kw-h/m³] = 0,285714	

Las Tablas 17 y 18 muestran los valores de descarga de la Planta Depuradora Bahía Blanca, que como se aclaró precedentemente, han sido considerados idénticos que los introducidos para la entrada. A partir de estos valores se confeccionó el inventario ingresado al programa de cálculo

4.3.4. Evaluación del Impacto

La evaluación de impacto se efectuó aplicando el método CML 2001, en la versión "baseline", tal como se expuso en el Capítulo 1 y se desarrolló en el Capítulo 5 del presente trabajo.

Tabla 17 – Valores medidos a la descarga de la Planta Depuradora Bahía Blanca (Cifuentes, O. Escudero, D., Medus, S., 2014)

CUENCA PRINCIPAL - RESULTADOS DE ANÁLISIS 2011/2012

FECHA	CAUDAL (m ³ /h)	TEMPERATURA (°C)	pH (upH)	CONDUCTIVIDAD (mS/cm)	DOO (mg/l)	DBO (mg/l)	SS 10' (mil)	SS 2 h (mil)	Sólidos totales (mg/l)	Sólidos fijos (mg/l)	Sólidos volátiles (mg/l)	Sólidos disueltos totales (mg/l)	Sólidos disueltos fijos (mg/l)	Sólidos disueltos volátiles (mg/l)	N Tot. (mg/l)	SULFUROS (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr total (mg/h)	Cd (mg/l)	Hg (mg/l)	V (mg/l)	Tl (mg/h)	Sn (mg/l)	Ti (mg/l)	Be (mg/l)	Antimonio (mg/l)	Na (mg/l)	Se (mg/l)	Co (mg/l)	B (mg/l)	Ba (mg/l)	Ar (mg/l)	Al (mg/l)	Fluoros (mg/l)	Cianuros (mg/l)	Cloruros (mg/l)	Ni (mg/l)	Sr (mg/l)
Limite Max. Admisible "Curso de Agua" (Ley Pcia. Bs. As. N°11.820)	≤ 45	6,5 - 10	-	≤ 250	≤ 50	Ausente	≤ 1,0	-	-	-	-	-	-	-	≤ 1,0	≤ 0,1	≤ 2,0	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 0,1	≤ 0,001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	≤ 0,1	-	≤ 2,0	-
Limite Max. Admisible "Curso de Agua Superficial" (Res. 336/03)	≤ 45	6,5 - 10	-	≤ 250	≤ 50	Ausente	≤ 1,0	-	-	-	-	-	-	-	≤ 35	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 0,1	≤ 2,0	≤ 0,1	≤ 0,005	-	-	-	-	-	-	-	≤ 0,1	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 2,0	≤ 0,5	≤ 2,0	-	≤ 0,1	-	≤ 2,0	-
16/05/2011	1750	20,4	7,8	1611											43,4	0,20	0,050	<0,04	0,03	0,01	<0,005	0,0008	0,20	<1	<0,05	<0,5	<0,001	<0,01	204	<0,01	<0,01	<0,10	<0,05	0,030	1,78	1,00	0,01	195		
17/05/2011	1750	20,8	7,8	1563			3,5	4,5	1242,5	750,0	492,5				44,2	0,20	0,050	<0,04	<0,02	0,06	<0,005	0,0007	0,20	<1	<0,05	<0,5	<0,001	<0,01	182	<0,01	<0,01	<0,10	<0,05	0,030	2,10	1,10	0,01	195		
18/05/2011	1750	7,8			332		3,0	3,5	1090,0	725,0	365,0				38,6	0,18	0,080	<0,04	<0,02	0,01	<0,005	0,0015	0,20	<1	<0,05	<0,5	<0,001	<0,01	185	<0,01	<0,01	<0,10	<0,05	0,040	1,60	1,20	0,01	200		
19/05/2011	1750	20,8	7,8		347		2,0	3,0	1182,5						37,2	0,17	0,040	<0,04	<0,02	0,01	<0,005	0,0010	0,20	<1	<0,05	<0,5	<0,001	<0,01	192	<0,01	<0,01	<0,10	0,17	0,030	1,90	1,20	0,01	200		
20/05/2011	1750	20,6	7,7		329		1,2	2,2	1107,5	740,0	367,5				42,0	0,16	0,020	<0,04	<0,02	<0,01	<0,005	0,0006	0,20	<1	<0,05	<0,5	<0,001	<0,01	214	<0,01	<0,01	<0,10	<0,05	0,040	0,60	1,30	0,01	204		
21/05/2011	1750	20,4	7,8		296	146	1,7	2,2	1310,0	870,0	440,0				39,5	0,14	0,050	<0,04	<0,02	<0,01	<0,005	0,0003	0,20	<1	<0,05	<0,5	<0,001	<0,01	190	<0,01	<0,01	<0,10	<0,05	0,040	0,80	1,20	0,01	190		
22/05/2011	1750	19,6	7,8		334		0,6	2,0	1140,0	782,5	357,5				38,4	0,16	0,060	<0,04	<0,02	<0,01	<0,005	0,0005	0,20	<1	<0,05	<0,5	<0,001	<0,01	185	<0,01	<0,01	<0,10	<0,05	0,040	0,80	1,20	0,01	190		
10/08/2011	1750	17,9	8,4		356	195	1,5	2,5	1277,5	802,5	475,0				42,2	0,18	0,042	0,12		<0,01	<0,005	0,0015	0,14	<0,01	<0,010	0,019	<0,010	270	<0,01	<0,01	0,47	0,14	0,026	0,34	0,90	<0,05	250	<0,02	0,38	
11/08/2011	1750	18,0	8,2		421	143	5,0	5,0	1387,5	827,5	560,0				46,6	0,23	0,052	0,20		<0,01	<0,005	0,0015	0,12	<0,01	0,013	0,025	<0,010	260	<0,01	<0,01	0,44	0,22	0,020	0,53	1,40	<0,05	300	<0,02	0,38	
12/08/2011	1750	18,0	8,1		380	135	4,0	4,5	1392,5	840,0	552,5				40,2	0,19	0,034	0,10		<0,01	<0,005	0,0018	0,13	<0,01	0,014	0,021	<0,010	265	0,03	<0,01	0,46	0,13	0,021	0,41	1,50	<0,05	300	<0,02	0,38	
13/08/2011	1750	17,7	8,1		351	143	3,0	4,5	1297,5	805,0	492,5				42,0	0,17	0,048	0,10		<0,01	<0,005	0,0012	0,13	<0,01	0,014	0,017	<0,010	240	0,01	<0,01	0,43	0,13	0,026	0,30	1,10	<0,05	300	<0,02	0,31	
15/08/2011	1750	17,6	8,2		406	146	1,5	2,5	1397,5	797,5	600,0				34,6	0,15	0,040	0,10		<0,01	<0,005	0,0011	0,13	<0,01	0,010	0,028	<0,010	260	0,02	<0,01	0,44	0,16	0,026	0,40	1,80	<0,05	300	<0,02	0,35	
16/08/2011	1750	17,5	8,2		369	154	1,6	2,8	1192,5	590,0	602,5				41,8	0,14	0,038	0,10		<0,01	<0,005	0,0015	0,14	<0,01	0,029	0,027	<0,010	270	<0,01	<0,01	0,50	0,15	0,024	0,43	1,50	<0,05	300	<0,02	0,39	
17/08/2011	1750	17,7	8,4		256	187	3,0	4,0	1385,0	835,0	550,0				37,0	0,14	0,038	0,10		<0,01	<0,005	0,0015	0,13	<0,01	<0,010	0,020	<0,010	260	<0,01	<0,01	0,45	0,11	0,023	0,41	1,50	<0,05	300	0,05	0,37	
14/11/2011	1750	22,3	8,4		625	240	4,0	4,0	1287,5	810,0	477,5				34,8	0,20	0,040	0,06	0,02	<0,01	<0,005	0,0006	0,13	<0,01	0,020	0,039	<0,010	276	<0,01	<0,01	0,52	0,29	0,019	1,00	1,20	<0,05	260	<0,01	0,39	
15/11/2011	1750	22,6	8,2		334	241	2,0	2,0	1277,5	820,0	457,5				39,2	0,16	0,030	0,08	<0,01	<0,01	<0,005	0,0008	0,14	<0,01	0,022	0,026	<0,010	310	<0,01	<0,01	0,65	0,25	0,021	0,72	1,00	<0,05	260	<0,01	0,46	
16/11/2011	1750	22,8	8,3		373	234	3,0	4,0	1277,5	757,5	520,0				33,6	0,20	0,042	0,11	<0,01	<0,01	<0,005	0,0010	0,10	<0,01	0,016	0,030	<0,010	235	<0,01	<0,01	0,45	0,29	0,018	0,60	1,40	<0,05	260	<0,01	0,42	
17/11/2011	1750	22,9	8,3		394	190	3,0	4,0	1215,0	747,5	467,5				34,4	0,19	0,034	0,12	<0,01	<0,01	<0,005	0,0010	0,10	<0,01	0,023	0,020	<0,010	230	<0,01	<0,01	0,47	0,27	0,018	0,50	1,30	<0,05	240	<0,01	0,34	
18/11/2011	1750	22,4	8,2		357		3,0	3,2	1165,0	700,0	465,0				33,6	0,12	0,034	0,12	<0,01	<0,01	<0,005	0,0004	0,07	<0,01	0,019	0,023	<0,010	210	<0,01	<0,01	0,42	0,25	0,012	0,54	1,20	<0,05	240	<0,01	0,42	
19/11/2011	1750	22,4	8,4		391	190	3,0	3,5	1310,0	802,5	507,5				40,8	0,14	0,034	0,09	<0,01	<0,01	<0,005	0,0007	0,11	<0,01	0,016	0,042	<0,010	250	<0,01	<0,01	0,57	0,24	0,019	0,89	1,30	<0,05	260	<0,01	0,32	
20/11/2011	1750	22,5	8,4		246	201	2,0	3,5	1200,0	805,0	395,0				33,2	0,14	0,032	0,08	<0,01	<0,01	<0,005	0,0008	0,10	<0,01	0,017	0,023	<0,010	210	<0,01	<0,01	0,51	0,22	0,017	0,57	1,40	<0,05	240	<0,01	0,30	
01/03/2012	1750				674	198	2,0	2,5	1122,5	720,0	402,5	1052,5	587,5	465,0	36,0	0,60	0,025	0,100	<0,010	0,013	<0,005	0,0005	0,11	<0,01	<0,010	0,017	<0,010	250	<0,01	<0,01	0,54	0,06	0,026	0,54	0,70	<0,05	230	0,01	0,39	
02/03/2012	1750	24,9	7,8		402	210	3,0	3,5	1185,0	752,5	432,5	1090,0	652,5	437,5	34,4	0,23	0,024	0,190	0,012	0,016	<0,005	0,0005	0,10	<0,01	<0,010	0,021	<0,010	270	0,01	<0,01	0,53	0,04	0,025	0,60	1,00	<0,05	240	0,02	0,39	
03/03/2012	1750	24,9	7,7		584	221	1,0	2,0	1105,0	537,5	567,5	1050,0	592,5	457,5	39,4	0,72	0,019	0,140	<0,010	0,013	<0,005	0,0005	0,11	<0,01	<0,010	0,021	<0,010	230	<0,01	<0,01	0,55	0,05	0,025	0,70	1,20	<0,05	260	<0,01	0,33	
05/03/2012	1750	25,1	7,7		358	205	3,0	3,5	1200,0	722,5	477,5	1027,5	700,0	327,5	22,4	0,06	0,025	0,140	0,012	0,012	<0,005	0,0004	0,12	<0,01	<0,010	0,028	<0,010	270	0,02	<0,01	0,51	0,04	0,024	0,74	1,00	<0,05	270	<0,01	0,40	
06/03/2012	1750	25,2	7,7		314	135	1,5	3,5	1260,0	805,0	455,0	1097,5	570,0	527,5	44,4	0,07	0,017	0,090	<0,010	0,014	<0,005	0,0004	0,10	<0,01	<0,010	0,030	<0,010	260	<0,01	<0,01	0,59	0,07	0,018	0,60	1,10	<0,05	300	<0,01	0,43	
07/03/2012	1750	24,8	7,5		274	207	2,5	4,0	1115,0	645,0	470,0	990,0	462,5	527,5	34,0	0,06	0,023	0,150																						

Referencias Cuenca Principal:

NL: No Legislado.

█ No cumple con el Máximo Admisible de Vuelco - Ley Pcia. Bs. As. N°11.820.

* Se compara con la Resolución 336/03 en aquellos parámetros no regulados por la Ley de la Pcia. de Bs. As. 11.820.

** Cuando el Límite de Detección (LD) es superior a un registro medido, no es posible indicar un valor mínimo.

(1) El promedio general es la media aritmética. Excepto para Caudal, pH, Temperatura y Conductividad, para el resto de los parámetros el promedio general es sólo un cálculo auxiliar para determinar los promedios ajustados.

(2) El promedio ajustado de los valores por encima del LD se calcula según la EPA en "Data Quality Assessment Statical Methods for Practitioners" QA/G-9S EPA/240/B.06/003-feb.2006. Para el caso en que la proporción de resultados no detectables se encuentra entre 15 % y 50 % del total de los resultados obtenidos, por el Método Aitchison se ajusta el promedio mediante la expresión: Promedio Ajustado = (Número de Datos por Encima del LD / Número de Datos Totales) x Promedio de los Datos por encima del LD.

(3) El percentil mayor al porcentaje de no detectables se utiliza como función estadística cuando más del 50% y menos del 90% de los resultados están por debajo del LD, como lo establece la metodología de la EPA en el Test de las Proporciones.

(4) En esta descarga no se calculan promedios ponderados de los distintos parámetros pues sólo se cuenta con un caudal promedio según Informe UTN FRBB - MBB CTE - AIQBB - ABSA, 2013.

(5) En máximo se indica el mayor resultado obtenido.

(6) En mínimo se indica el menor LD utilizado para el parámetro.

(7) En mínimo medido se indica el menor resultado en número obtenido.

(8) Indica el número de resultados de cada parámetro.

(9) y (10) Para esta descarga, para calcular el número y porcentaje de veces superado el máximo admisible se aplica la Ley Pcia. Bs. As. N°11.820. Para aquellos parámetros no legislados por esta normativa se utilizan los máximos admisibles de la Resolución 336/03.

Observaciones:

Caudal: Se adoptó Q promedio=1750 m³/h según Informe: "Evaluación de reuso de los efluentes cloacales de la cuenca hídrica de Bahía Blanca, con destino agrícola y/o industrial".

Zn: (1) El promedio general es el promedio de los valores por encima del LD. (2) La proporción de resultados no detectables es de 25,9 %, por lo tanto se ajusta el promedio de los valores por encima del LD según la metodología antes mencionada.

Pb: (3) La proporción de resultados no detectables es 75 %, por lo tanto se utiliza el percentil P₇₅ como la función estadística para el promedio según EPA.

Cr total: (3) La proporción de resultados no detectables es 63 %, por lo tanto se utiliza el percentil P₆₅ como la función estadística para el promedio según EPA.

Cd: (1) El 100% de los resultados se indica < LD por lo tanto el promedio general según EPA es < LD, en este caso < 0.005 mg/l, siempre por debajo del máximo admisible.

Talio: (1) El 100% de los resultados se indica < LD por lo tanto el promedio general se asume < LD según EPA, variando entre 0,01 y 1 mg/l.

Estaño: (3) La proporción de resultados no detectables es 55,6 %, por lo tanto se utiliza el percentil P₆₀ como la función estadística para el promedio según EPA.

Titanio: (1) El promedio general se calcula con los valores por encima del LD. (2) La proporción de resultados no detectables es de 25,9 %, por lo tanto se ajusta el promedio de los valores por encima del LD según EPA.

Berilio: (1) El 100% de los resultados se indica < LD por lo tanto el promedio general se asume < LD según EPA, variando entre 0,001 y 0,01 mg/l, siempre por debajo del máximo admisible.

Antimonio: (1) El 100% de los resultados se indica < LD por lo tanto el promedio general según EPA es < LD, en este caso < 0.01 mg/l.

Selenio: (3) La proporción de resultados no detectables es 81,5 %, por lo tanto se utiliza el percentil P₈₅ como la función estadística para el promedio según EPA.

Cobalto: (1) El 100% de los resultados se indica < LD por lo tanto el promedio general según EPA es < LD, en este caso < 0.01 mg/l, siempre por debajo del máximo admisible.

B: (1) El promedio general es el promedio de los valores por encima del LD. (2) La proporción de resultados no detectables es de 25,9 %, por lo tanto se ajusta el promedio de los valores por encima del LD según la metodología antes mencionada.

Ba: (1) El promedio general es el promedio de los valores por encima del LD. (2) La proporción de resultados de detectables es de 22,2 %, por lo tanto se ajusta el promedio de los valores por encima del LD según la metodología antes mencionada.

Cianuro: (3) La proporción de resultados no detectables es 74,1 %, por lo tanto se utiliza el percentil P₇₅ como la función estadística para el promedio según EPA.

Ni: (3) La proporción de resultados no detectables es 85 %, por lo tanto se utiliza el percentil P₈₅ como la función estadística para el promedio según EPA.

Tabla 18 – Valores medidos a la descarga de la Planta Depuradora Bahía Blanca (análisis bacteriológico) (Montserrat, V. y Uribe Echevarría, M., 2013)

Fechas	Muestras (hora)	Colif. fecales (NMP/100ml)	E. Coli (UFC/100ml)	Enterococcus spp. (UFC/100ml)
16-may-11	13:15	2,40E+07	5,00E+07	2,40E+05
16-may-11	23:15	4,30E+06	9,00E+07	3,60E+05
17-may-11	10:15	2,40E+07	5,00E+07	3,70E+05
17-may-11	13:15	4,60E+06	1,00E+07	6,50E+05
17-may-11	22:00	1,50E+06	1,00E+08	4,70E+05
18-may-11	03:00	2,30E+07	6,00E+07	2,20E+05
18-may-11	10:00	2,30E+07	2,00E+07	2,10E+05
18-may-11	13:00	7,50E+06	1,00E+08	4,80E+05
18-may-11	22:00	9,30E+06	1,90E+08	2,90E+05
19-may-11	03:00	4,30E+06	7,00E+07	1,80E+04
19-may-11	08:00	9,30E+06	3,00E+07	7,00E+04
19-may-11	13:00	4,30E+06	1,00E+08	6,00E+05
19-may-11	22:30	4,30E+06	7,00E+07	3,20E+05
20-may-11	08:30	9,30E+06	3,00E+07	2,10E+05
20-may-11	13:30	1,50E+07	3,00E+07	2,20E+05
20-may-11	22:30	2,40E+07	3,00E+07	6,00E+04
21-may-11	08:30	1,50E+07	5,00E+07	2,00E+05
21-may-11	13:00	9,30E+06	2,00E+07	2,10E+05
21-may-11	22:15	4,30E+06	6,00E+07	2,30E+05
22-may-11	08:15	9,30E+06	5,00E+07	3,00E+05
22-may-11	13:00	4,30E+06	7,00E+07	6,00E+05
22-may-11	22:15	9,30E+06	3,00E+07	9,00E+04
23-may-11	08:15	4,30E+06	1,00E+07	1,00E+04
PROMEDIO 1		1,08E+07	5,74E+07	2,79E+05
10-ago-11	22:00	4,60E+06	2,90E+07	1,60E+05
11-ago-11	03:00	9,30E+06	2,80E+07	3,50E+05
11-ago-11	08:00	2,30E+06	5,00E+06	1,90E+05
11-ago-11	13:00	4,60E+07	2,50E+07	5,50E+05
11-ago-11	22:00	9,30E+06	2,20E+07	3,00E+05
12-ago-11	03:00	9,30E+06	2,00E+07	6,00E+04
12-ago-11	08:00	4,30E+06	1,40E+07	2,10E+05
12-ago-11	13:00	9,30E+06	1,30E+08	5,80E+05
12-ago-11	22:00	4,30E+06	9,00E+06	1,80E+05
13-ago-11	08:00	9,10E+05	9,00E+06	8,00E+04
13-ago-11	22:00	4,30E+06	1,00E+07	2,50E+05
14-ago-11	08:00	4,30E+06	5,50E+06	5,00E+04
14-ago-11	12:00	4,30E+06	3,00E+07	1,40E+05
15-ago-11	13:00	4,60E+06	1,80E+07	1,20E+05
15-ago-11	22:00	4,30E+06	3,00E+07	4,30E+05
16-ago-11	08:00	4,30E+06	4,50E+07	2,80E+05
16-ago-11	11:30	4,30E+06	3,70E+07	4,10E+05
16-ago-11	22:00	2,10E+06	1,40E+07	1,10E+05
17-ago-11	08:00	4,30E+06	1,70E+07	3,00E+05
17-ago-11	11:30	2,30E+06	1,70E+07	2,40E+05
17-ago-11	22:00	9,30E+06	1,70E+07	1,50E+05
18-ago-11	08:00	1,50E+07	2,30E+07	1,00E+05
PROMEDIO 2		7,41E+06	2,52E+07	2,38E+05

Tabla 18– Valores medidos a la descarga de la Planta Depuradora Bahía Blanca (análisis bacteriológico) (Montserrat, V. y Uribe Echevarría, M., 2013) (Continuación)

14-nov-11	22:00	1,20E+07	2,00E+04	2,90E+06
15-nov-11	03:00	1,00E+07	1,00E+04	2,40E+07
15-nov-11	08:00	1,30E+07	3,00E+04	9,30E+06
15-nov-11	22:00	2,50E+07	4,00E+04	2,10E+06
16-nov-11	03:00	9,00E+06	5,00E+04	2,40E+07
16-nov-11	08:00	1,20E+07	1,00E+04	4,30E+06
16-nov-11	22:00	1,00E+07	7,80E+05	2,10E+06
17-nov-11	03:00	6,00E+06	4,40E+05	4,30E+06
17-nov-11	08:00	2,40E+07	2,00E+05	9,30E+06
17-nov-11	22:00	1,90E+07	6,00E+04	9,10E+05
18-nov-11	03:00	1,80E+07	2,00E+04	2,30E+06
18-nov-11	08:00	4,80E+07	3,00E+04	9,30E+06
18-nov-11	22:00	1,80E+07	4,00E+04	4,30E+06
19-nov-11	03:00	2,40E+07	1,00E+04	2,30E+06
19-nov-11	08:00	2,10E+07	2,00E+04	2,30E+06
19-nov-11	22:00	1,70E+07	4,00E+04	4,30E+06
20-nov-11	03:00	1,30E+07	4,00E+04	9,30E+06
20-nov-11	08:00	4,00E+07	3,00E+04	4,30E+06
20-nov-11	22:00	1,30E+07	2,00E+04	9,30E+06
21-nov-11	03:00	3,00E+07	3,00E+04	4,30E+06
21-nov-11	08:00	2,50E+07	2,00E+04	1,50E+06
PROMEDIO 3		1,94E+07	9,24E+04	6,51E+06
01-mar-12	22:00	2,40E+07	1,10E+07	1,00E+04
02-mar-12	03:00	2,30E+06	2,20E+07	3,00E+04
02-mar-12	08:00	9,30E+06	1,10E+07	4,00E+04
02-mar-12	22:00	9,30E+06	1,40E+07	3,00E+04
03-mar-12	03:00	9,30E+06	1,60E+07	4,00E+04
03-mar-12	08:00	4,50E+05	1,20E+07	5,00E+04
03-mar-12	22:00	9,30E+06	1,90E+07	4,00E+04
04-mar-12	03:00	4,30E+06	1,70E+07	5,00E+04
04-mar-12	08:00	4,30E+06	2,00E+07	6,00E+04
05-mar-12	22:00	4,30E+06	3,00E+07	9,00E+04
06-mar-12	03:00	4,30E+06	3,60E+07	7,00E+04
06-mar-12	08:00	4,30E+06	4,00E+06	2,00E+05
06-mar-12	22:00	2,30E+06	1,00E+07	3,00E+05
07-mar-12	03:00	9,30E+06	9,00E+06	4,00E+04
07-mar-12	08:00	9,30E+06	8,00E+06	5,00E+04
07-mar-12	22:00	1,50E+07	1,50E+06	8,00E+04
08-mar-12	03:00	7,50E+06	2,80E+07	1,10E+05
08-mar-12	08:00	2,30E+06	1,40E+07	1,00E+05
PROMEDIO 4		1,31E+08	2,83E+08	1,39E+06
PROMEDIO TOTAL		4,22E+07	9,13E+07	2,10E+06

4.3.5. *Análisis del Ciclo de Vida de la planta de tratamiento propuesta.*

Habiendo modelado la planta considerada necesaria para cumplir con las exigencias de depuración del efluente para su utilización como agua de alimentación para la industria y para riego, se determinó el ACV correspondiente a dicha planta para hacer la comparación entre ambos procesos que permitan concluir como impactan cada una de ellas al medio ambiente.

Respecto a la definición del objetivo, alcance y unidad funcional, son coincidentes con el análisis efectuado para la Planta de Tratamientos Bahía Blanca. En cuanto a los límites del sistema, también son coincidentes, puesto que se analiza el producto del proceso, en este caso 1m^3 de efluente, a la salida del tratamiento de ósmosis inversa.

Determinados los límites del sistema, el inventario se confeccionó, al igual que para el caso de la Planta Bahía Blanca, utilizando datos que permitan al programa de cálculo identificar y cuantificar los efectos adversos asociados a la u.f. establecida.

Para su confección se utilizaron, como ingreso al sistema, los mismos que para el análisis efectuado a la Planta de Tratamientos Bahía Blanca. Como datos de salida, se manejaron los datos calculados a partir de la eficiencia teórica esperable para los procesos aplicados en el diseño esquemático planteado y cuyo resumen puede verse en la Tabla 19.

Cabe aclarar que tal eficiencia surge de la bibliografía consultada y referida oportunamente, salvo para el caso de la ósmosis inversa, donde se aplicó el programa de cálculo "RO MEMBRANE SYSTEM DESIGN SOFTWARE" (CMSPRO Ver. 5), de la empresa CUSTOMER SATISFACTION MEMBRANES.

También en ésta oportunidad, los datos de campo no disponibles se reemplazaron mediante la utilización de las bases de datos que el software SimaPro posee para procesos similares o de la misma naturaleza.

Para las estimaciones de consumo eléctrico se hizo el cálculo teórico de cada etapa del proceso por separado, incluyendo el bombeo, sistema de aireación, bombas de baja y alta presión (correspondientes al sistema de ultrafiltración y ósmosis inversa), tomando como referencia el desarrollo aplicado a las bombas de circulación.

4.4. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Los resultados e interpretación de los ACV efectuados pueden observarse en el Capítulo 5 del presente trabajo. Cabe destacar que los resultados surgen del cálculo efectuado por el programa SimaPro 8. Las conclusiones del trabajo conforman el Capítulo 6 del presente.

Tabla 19 – Rendimiento teórico de los procesos de tratamiento

	DESCARGA LINEA DE AGUA				LINEA DE LODOS
	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO UF	TRATAMIENTO OI	
CONSUMO ELÉCTRICO (Kw-h/m³)	0,2826	0,3956	0,3109	0,4239	
MUESTRA	% REDUCCIÓN	% REDUCCIÓN	% REDUCCIÓN	% REDUCCIÓN	% TRANSFERENCIA LINEA AGUAS (Doka, 2007)*
Conductividad eléctrica	0	0	10	98	
pH (upH)	0	0		13	
Temperatura (°C)	0	0			
DQO compl. (mg/l)	0	93	87	92,8	
DBO compl. (mg/l)	0	97	93	92,9	
Sólidos sedim 10' (mg/l)	65	95	90	98	
Sólidos sedim 2 h (mg/l)	65	95	90	98	
Sólidos totales (mg/l)	0	0			
Sólidos fijos (mg/l)	0	0			
Sólidos volátiles (mg/l)	0	0			
Sólidos disueltos totales (mg/l)	0	0	14	98	
Sólidos disueltos fijos (mg/l)	0	0	14	98	
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	60		90	99,8	
Sólidos disueltos volátiles (mg/l)	0	0	14	98	
Nitrógeno Tot. (mg/l)	0	76	58	82	22,3
Sulfuros (mg/l)	0	0	1	99	0
Plomo (mg/l)	0	90	14	99	90
Cobre (mg/l)	0	75	14	99	75
Cinc (mg/l)	0	70	14	99	70
Cromo (mg/l)	0	50	14	99	50
Cadmio (mg/l)	0	50	14	99	50
Cobalto (mg/l)	0	50	14	99	50
Bario (mg/l)	0	50	14	99	50
Niquel (mg/l)	0	40	14	99	40
Vanadio (mg/l)	0	50	14	99	50
Talio (mg/l)	0	50	14	99	50
Estaño (mg/l)	0	59	14	99	59
Titanio (mg/l)	0	50	14	99	50
Berilio (mg/l)	0	50	14	99	50
Antimonio (mg/l)	0	50	14	99	50
Sodio (mg/l)	0	0	14	97	0
Selenio (mg/l)	0	50	14	99	50
Boro (mg/l)	0	50	14	99	50
Arsénico (mg/l)	0	22	14	99	22
Aluminio (mg/l)	0	95	14	99	95
Estroncio (mg/l)	0	50	14	99	50
Fluoruros (mg/l)	0	0	14	99	0
Cianuros (mg/l)	0	0	14	99	0
Cloruros (mg/l)	0	0	14	99	0
Mercurio (mg/l)	0	70	14	99	70
Coliformes fecales (NMP/100ml)	0	60	90	99,9	60
E. Coli (UFC/100ml)	0	60	90	99,9	60
Enterococcus spp.(UFC/100ml)	0	60	90	99,9	60

* El porcentaje de transferencia d la línea de aguas indica la parte del elemento en cuestión es transferido al lodo cuando se separa de la parte acuosa del efluente (Doka, 2007)

Capítulo 5

Caso de estudio:

*Planta Depuradora
Bahía Blanca*

*Descripción, resultados
interpretación y discusión*

5.1.DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La ciudad de Bahía Blanca está localizada a los 38° 44' Latitud Sur y 62° 16' Longitud Oeste, al Sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, sobre la costa del océano Atlántico (Figura 21). El partido, conformado por la ciudad de Bahía Blanca y las localidades de Ingeniero White, General Daniel Cerri y Cabildo limita con los partidos de Villarino, Tornquist, Coronel Pringles y Coronel Rosales, siendo su superficie de 2.300 Km² (Gobierno de Bahía Blanca, 2014).

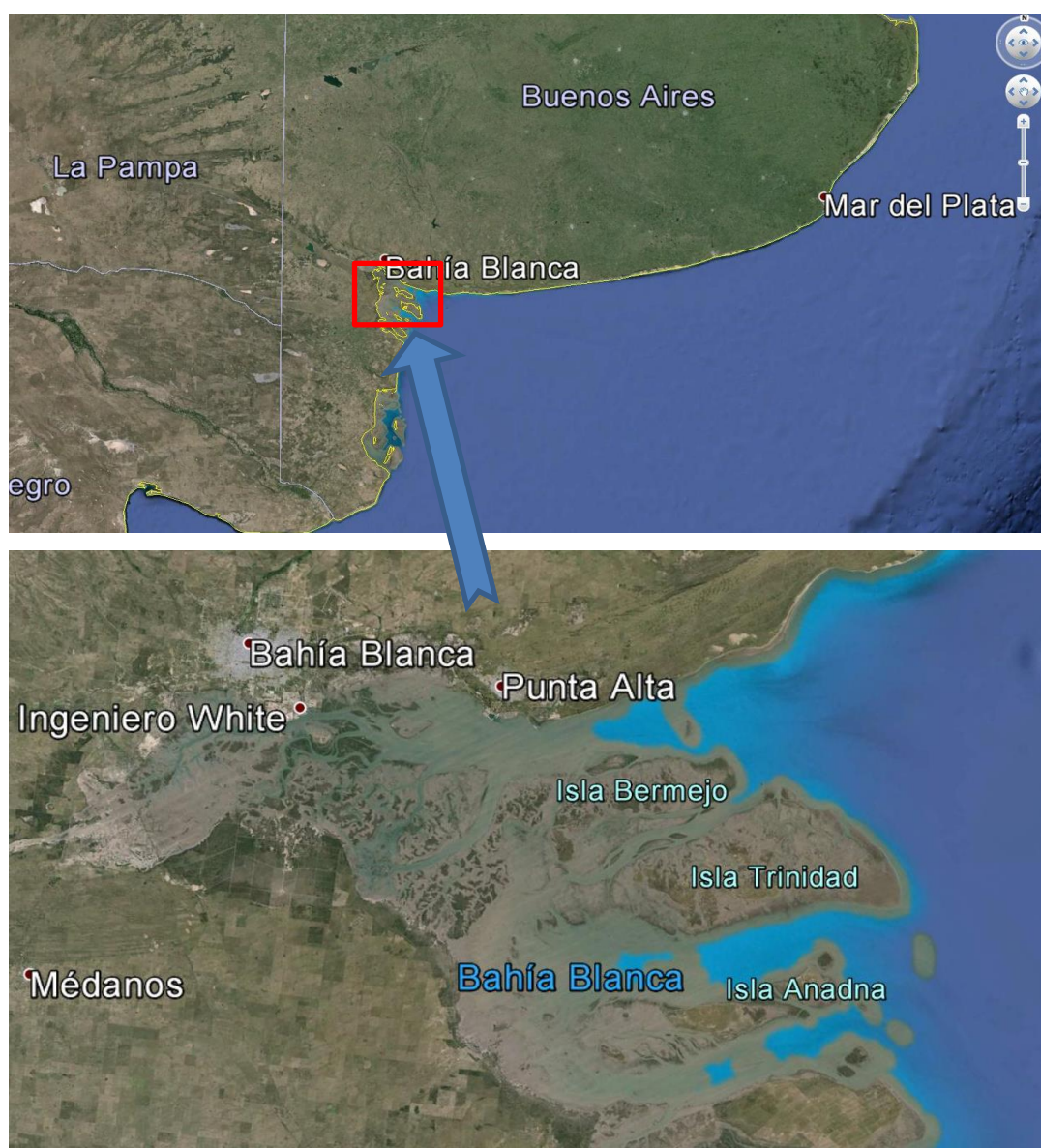


Figura 21 – Localización de la ciudad de Bahía Blanca y su estuario (Elaboración propia)

Su población, según el último Censo Nacional realizado en 2010, arrojó un número de 301.531 habitantes en todo su partido, con un acceso a la red pública de agua de 101.323 viviendas de un total de 105.342 (96,19 %) y a la red cloacal de 84.702 viviendas (80,40 %) (INDEC, 2010)

El agua que abastece a la población de Bahía Blanca, proviene de distintas fuentes tales como el Dique Paso de las Piedras, el Arroyo Napostá, el Arroyo Sauce Grande, perforaciones de Bajo San José y de Cabildo. La provisión de agua potable es del orden de 8500 m³/h, lo que equivale a un consumo por habitante por día de aproximadamente 550 litros. Además, se abastece al Parque Industrial y al Polo Petroquímico, con un caudal que varía entre 2000 y 3000 m³/h de agua cruda (Montserrat y Uribe Echevarría, 2013).

El sistema posee dos plantas potabilizadoras, la Planta Grunbein, con una producción de 55.000 m³/día y la Planta Patagonia, que aporta 192.000 m³/día (Municipalidad de Bahía Blanca - Comité Técnico Ejecutivo, 2010).

El sistema de desagües domiciliarios está conformado por la Planta Depuradora Bahía Blanca, la Planta Depuradora Ingeniero White y la Planta Depuradora Tercera Cuenca, que colectan los efluentes cloacales de toda la red pública sanitaria (Figura 22).

Cabe aclarar que a los términos del presente estudio se contempló únicamente la Planta Depuradora Bahía Blanca por ser la principal y de mayor volumen de aguas residuales procesadas. La Planta Ingeniero White y la de la Tercera Cuenca no han sido consideradas a los términos de la comparación ni se efectuó su ACV.

Referencias:

- Cuenca de vuelco a Planta Depuradora Ingeniero White
- Cuenca vuelco a Planta Desbaste Bahía Blanca
- Cuenca de vuelco a Planta Depuradora Tercera Cuenca

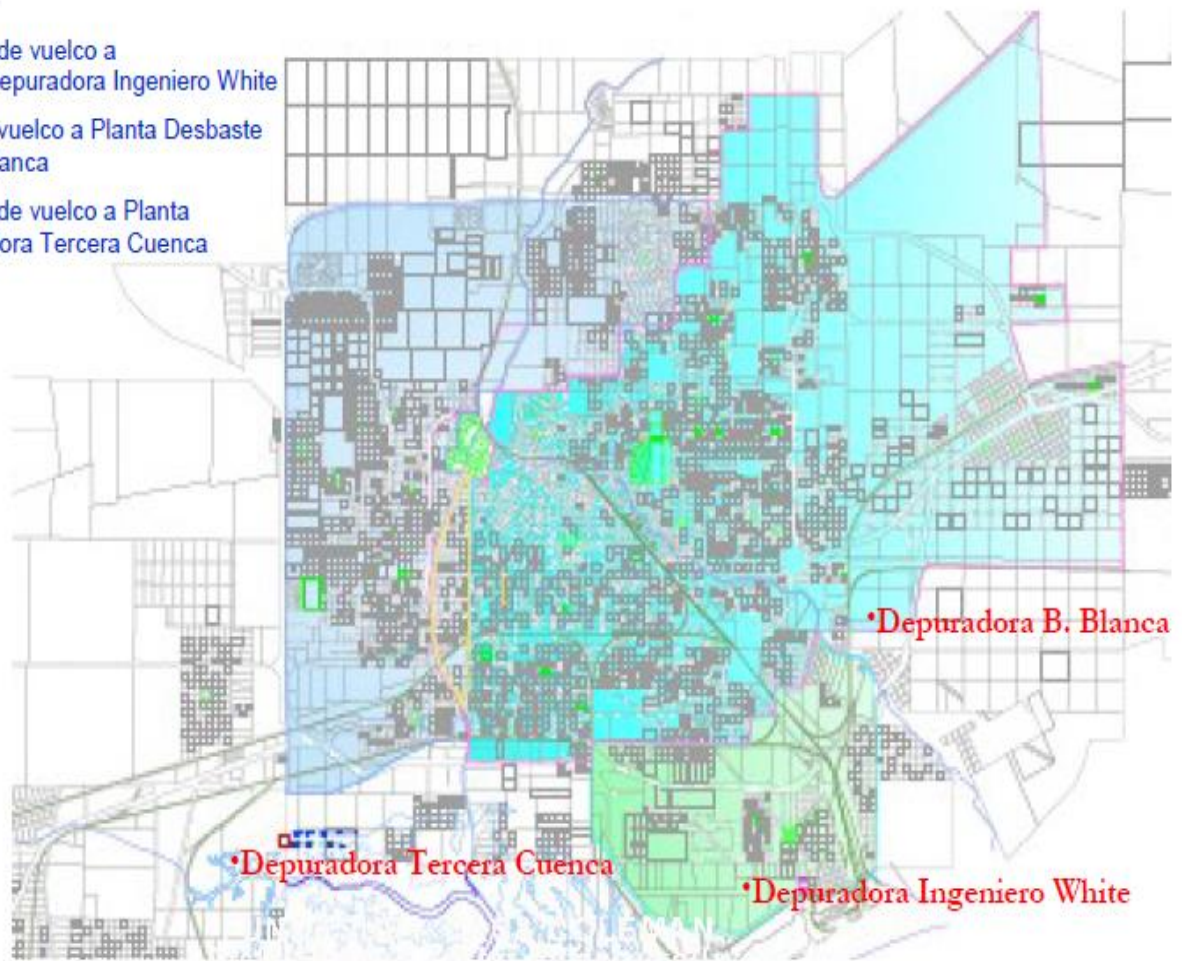


Figura 22 – Esquema sistema de desagües de Bahía Blanca (ABSA, 2010)

En la actualidad, la Planta Ingeniero White se encuentra fuera de servicio por lo que los efluentes del área de influencia de dicha planta son derivados a la Planta Bahía Blanca (Figura 23).

Los efluentes, luego de su recolección y tratamiento en las plantas mencionadas son volcados al estuario de Bahía Blanca.

Referencias:

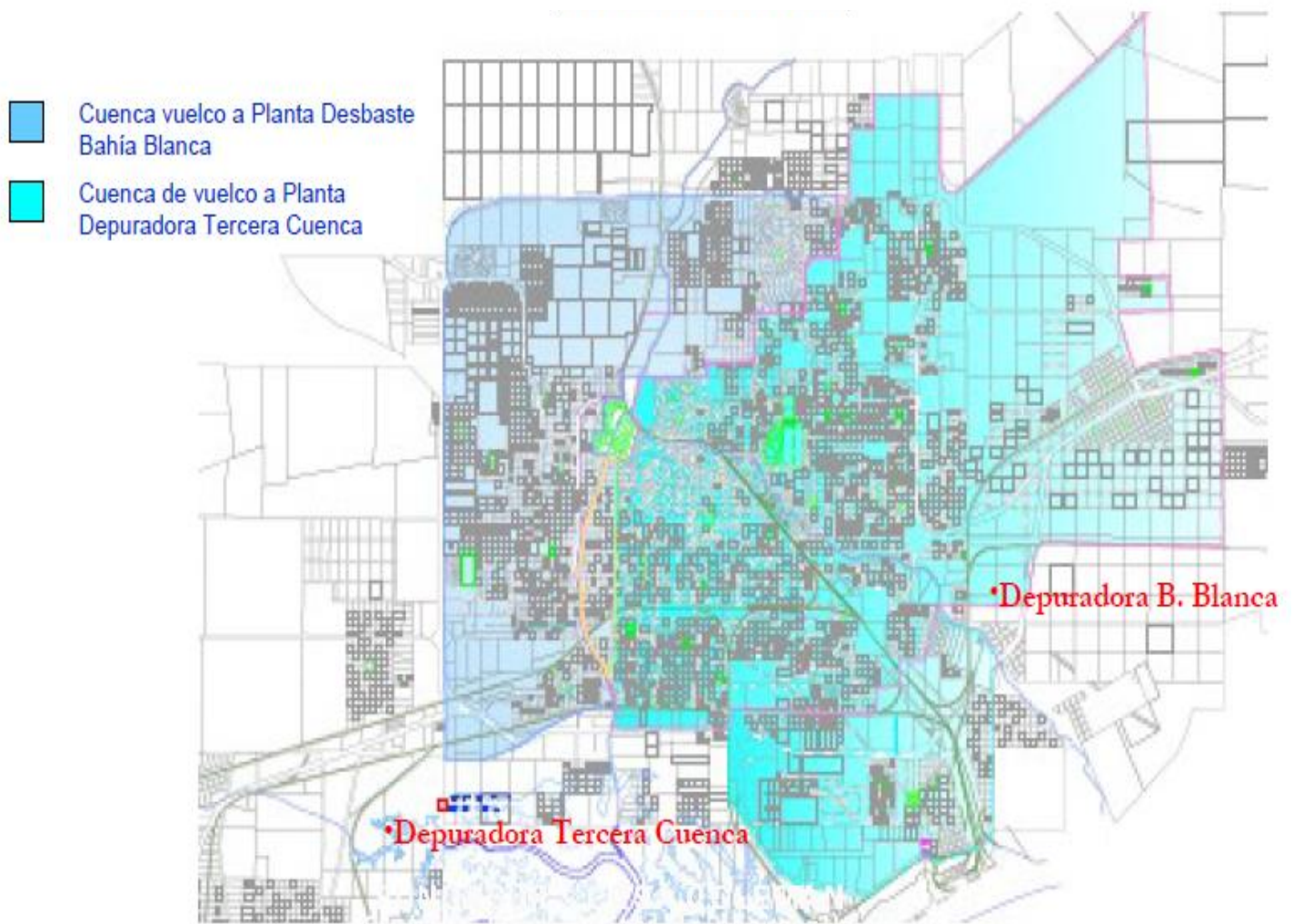


Figura 23 – Esquema actual sistema de desagües de Bahía Blanca (ABSA, 2010)

5.2. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA

La Planta Depuradora de Líquidos Cloacales Bahía Blanca se encuentra ubicada en la calle Reconquista 2800 (Ruta 252 km 7,5) de la Ciudad de Bahía Blanca. Dicha ubicación corresponde a la zona costera de la localidad de Ingeniero White, a unos 8 km del centro de la ciudad y 4 km de los establecimientos del polo petroquímico local (Figura 24). Como se aclaró en el punto anterior, el área de influencia de la planta comprende el sector definido en la Figura 23. De la imagen se desprende que la Depuradora Bahía Blanca es la principal colectora de efluentes cloacales de la ciudad.



Figura 24- Ubicación de la Planta Depuradora Bahía Blanca (Elaboración propia)

La planta fue diseñada originalmente para un tratamiento de tipo primario, el que incluía un sistema de rejillas, un pozo de bombeo con 6 bombas tipo flygt de 1000 m³/h cada una, filtros con tamices rotativos conformados por 3 filtros con capacidad de retención de sólidos de dimensiones superiores a 0,75 mm y capacidad de filtración total 2,1 m³/seg (7.560 m³/hs), un sistema de extracción de sólidos y una cámara de contacto para desinfección (ABSA, 2010).

En la actualidad la planta procesa un caudal medio de 1750 m³/h (dato utilizado como referencia para el cálculo de los ACV efectuados) y sólo realiza separación de sólidos mediante el sistema de rejillas inicial, puesto que por comunicación personal se informó que los filtros con tamices rotativos ilustrados en la Figura 25 se encuentran fuera de servicio.



Figura 25 – Sistema de rejas y pozo de bombeo Depuradora Bahía Blanca (ABSA, 2010)

5.3. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA

Tanto el objetivo, como el alcance, la unidad funcional, los límites del sistema y la confección del inventario del ACV quedaron definidos en el Capítulo 4 – Metodología, del presente estudio.

5.3.1. Evaluación del impacto – Interpretación de los resultados

La evaluación de impacto se efectuó corriendo el programa SimaPro 8, aplicando el método CML 2001 en la versión “baseline”, desarrollada en el Capítulo 1 del presente trabajo.

Es importante señalar que a los fines de la aplicación del programa de cálculo utilizado en el análisis del ciclo de vida se ha considerado al estuario de Bahía Blanca, zona de descarga de la planta estudiada, como un río, ya que la legislación lo considera un cuerpo de agua superficial. Esto es así porque en el programa no está discriminada la zona marítima propiamente dicha de los estuarios y zonas costeras.

No obstante ello, las diferencias de considerarlo, a los fines del ACV, como ambiente marino o como un río no son significativas. La comparación entre ambas situaciones es agregada como Anexo 1 a la presente investigación.

Es importante la aclaración por cuanto las características del estuario difieren de la de un ambiente marino propiamente dicho debido a que, entre otras cosas, su salinidad es menor a consecuencia de la dilución producto del ingreso de agua dulce proveniente del Arroyo Napostá Grande, Napostá Chico, Sauce Chico y Arroyo Saladillo de García.

Del análisis del proceso se aprecia que, en porcentaje de categorías de impacto, el mayor número proviene de la generación y consumo eléctrico. A tal conclusión se arriba considerando en las condiciones actuales de funcionamiento, las categorías caracterizadas, con una incidencia muy superior al de la descarga de efluentes (Tabla 20 y Figura 26).

Normalizados los resultados, procedimiento que se requiere para demostrar hasta qué grado la categoría de impacto contribuye en forma significativa al problema ambiental global (Ver Capítulo 1 del presente trabajo), puede apreciarse que la categoría de impacto más relevante es la toxicidad marina, producida, en primer lugar, por la presencia de contaminantes en el efluente descargados en las aguas costeras y en segundo lugar por las emisiones generadas en la obtención de la energía eléctrica consumida por las bombas de circulación. Nótese que a pesar de haber considerado como sub-compartimiento ambiental "río", el mayor efecto se ve reflejado en las aguas marinas.

A la toxicidad marina le sigue la eutrofización debido a la presencia de nutrientes, en especial nitrógeno, en el efluente. La categoría de impacto que le sigue en importancia es la toxicidad de las aguas superficiales, con el mismo origen que la marina, pero con un efecto global menor. Por último, la

toxicidad terrestre, producto de la transferencia de contaminantes de las aguas de la zona de descarga al lecho y por la presencia de metales como el mercurio. En menor proporción por efectos del depósito de los desechos de hidrocarburos combustionados en la obtención de la electricidad para el funcionamiento de las bombas anteriormente mencionadas.

En menor medida continúan la toxicidad humana, con origen de la misma naturaleza que la del ambiente marino, aunque de consecuencias más severas desde el punto de vista de la salud, y por último, el agotamiento de los recursos en función del consumo de combustibles fósiles en la generación eléctrica (Tabla 21 y Figura 27).

Tabla 20 – Caracterización de 1 m³ del efluente descargado

Tabla que muestra la caracterización del proceso de 1 m³ del efluente descargado al estuario por la PTBB. El método CML 2001 - Baseline define diez categorías de impacto, asignándoles cada una de las intervenciones ambientales, convertidas a unidades del indicador a través de los factores de caracterización (o factores de equivalencia) (Ver página 51).

Indicadas las categorías de impacto, las unidades de cada una de ellas y la sumatoria total correspondiente a cada una de las categorías, las tres columnas finales corresponden a los subprocesos que conforman el proceso analizado, indicando en unidades equivalentes, la contribución de cada una de estos en la categoría de impacto correspondiente.

SimaPro 8.0.2 Proyecto	Análisis de impacto AGUAS RESIDUALES FINAL	Fecha: 06/11/2014	Período: 17:10
Cálculo: Resultado:	Analizar Evaluación del impacto	1 m ³ EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables) (Proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL)	
Producto:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Método:	Caracterización		
Indicador:	Nunca		
Omitir categorías:	Sí		
Excluir procesos de infraestructura:	No		
Excluir emisiones a largo plazo:	Categoría de impacto		
Ordenado por:	Ascendente		

Categoría de impacto	Unidad	Total	EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables)	AFLUENTE PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables)	ELECTRICIDAD SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL
Agotamiento de los recursos abióticos	kg Sb eq	0,001196765	0	1,08226E-05	0,001185942
Acidificación	kg SO ₂ eq	0,000255458	0	0	0,000255458
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	0,024380561	0,024353749	0	2,68111E-05
Calentamiento Global (GWP100)	kg CO ₂ eq	0,151845598	0	0	0,151845598
Disminución de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,58001E-08	0	0	2,58001E-08
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1,160020958	1,128270958	0	0,03175
Ecotoxicidad del agua superficial	kg 1,4-DB eq	0,006655644	6,1607E-06	0	0,006649483
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	632,0733984	606,289808	0	25,78359041
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,007026016	0,0069524	0	7,36164E-05
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C ₂ H ₄ eq	1,87898E-05	0	0	1,87898E-05

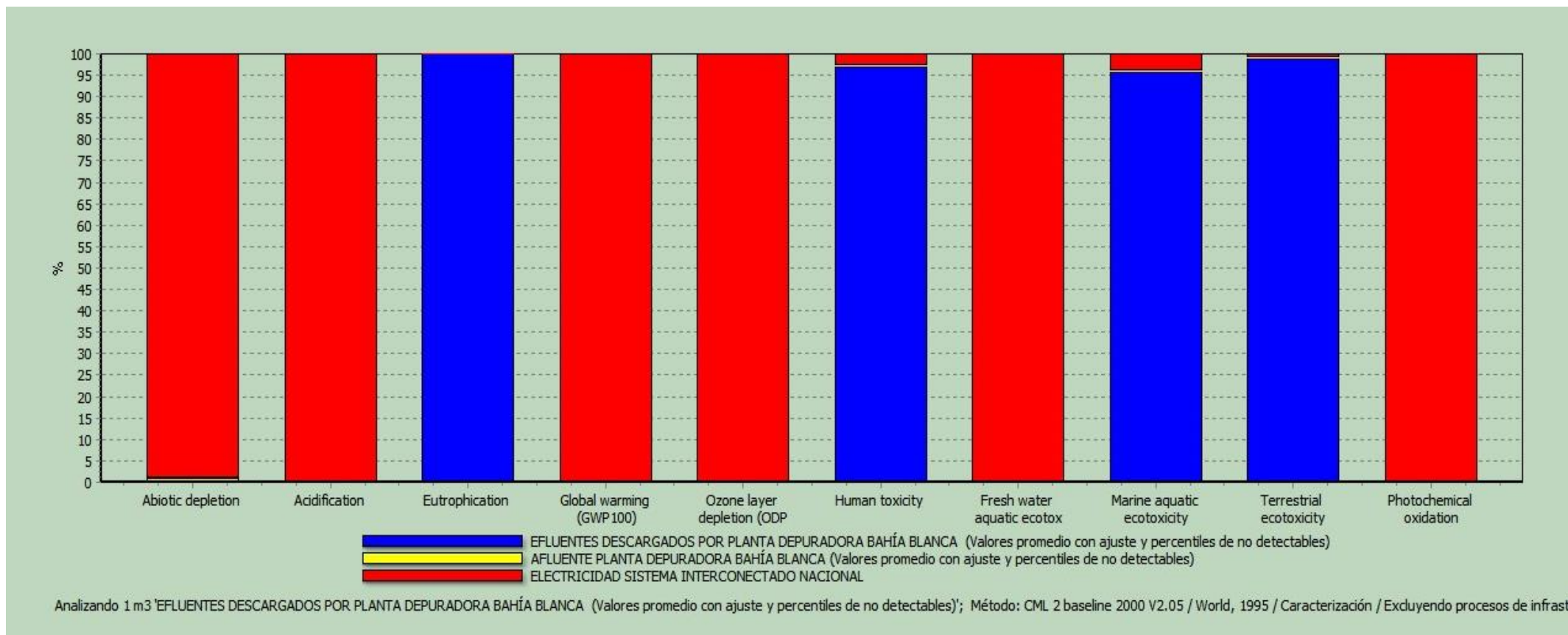


Figura 26 - Gráfico correspondiente a la caracterización del proceso de 1 m³ de efluente descargado

La figura representa la caracterización del proceso de 1 m³ del efluente descargado al estuario por la PTBB, utilizando el método CML 2001 - Baseline. Cada columna muestra en que porcentaje influyen los subprocesos que conforman el proceso en estudio para cada una de las diez categorías de impacto.

Tabla 21 - Análisis normalizado de 1 m³ del efluente descargado

Tabla que muestra la normalización del proceso de 1 m³ del efluente descargado al estuario por la PTBB. La normalización transforma cada resultado de la caracterización, dividiéndolo por un valor de referencia seleccionado (Para el caso del SimaPro se multiplica por su inversa, indicado en la columna "Normalización"). Tal factor se calcula en función de las emisiones anuales para una determinada zona. En el caso de estudio se utilizan las correspondientes a los años 1990 y 1995 a nivel mundial. La normalización permite determinar hasta qué grado cada categoría de impacto contribuye en forma significativa al problema ambiental global.

Indicadas las categorías de impacto, los factores de normalización de cada una de ellas y la sumatoria total correspondiente a cada una de las categorías, las tres columnas finales corresponden a los subprocesos que conforman el proceso analizado, indicando la contribución de cada una de estos en la categoría de impacto correspondiente

SimaPro 8.0.2 Proyecto	Análisis de impacto AGUAS RESIDUALES FINAL	Fecha:	06/11/2014	Período:	17:10
Cálculo:	Analizar				
Resultado:	Evaluación del impacto				
Producto:	1 m ³ EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables) (Proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL)				
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995				
Indicador:	Normalización				
Omitir categorías:	Nunca				
Excluir procesos de infraestructura:	Sí				
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí				
Ordenado por:	Categoría de impacto				
Orden de clasificación	Ascendente				

Categoría de impacto	Normalización World (1990 and 1995)	Total	EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables)	AFLUENTE PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables)	ELECTRICIDAD SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL
Agotamiento de los recursos abióticos	6,32E-12	7,6473E-15	0	6,91566E-17	7,57817E-15
Acidificación	3,09E-12	7,9447E-16	0	0	7,94473E-16
Eutrofización	7,53E-12	1,8432E-13	1,84114E-13	0	2,02692E-16
Calentamiento Global (GWP100)	2,27E-14	3,6595E-15	0	0	3,65948E-15
Disminución de la capa de ozono (ODP)	8,76E-10	5,0052E-17	0	0	5,00523E-17
Toxicidad humana	1,67E-14	2,03E-14	1,97447E-14	0	5,55625E-16
Ecotoxicidad del agua superficial	4,83E-13	3,2613E-15	3,01874E-18	0	3,25825E-15
Ecotoxicidad marina	1,32E-15	1,2325E-12	1,18227E-12	0	5,0278E-14
Ecotoxicidad terrestre	3,79E-12	2,6137E-14	2,58629E-14	0	2,73853E-16
Formación de oxidantes fotoquímicos	9,59E-12	1,9541E-16	0	0	1,95414E-16

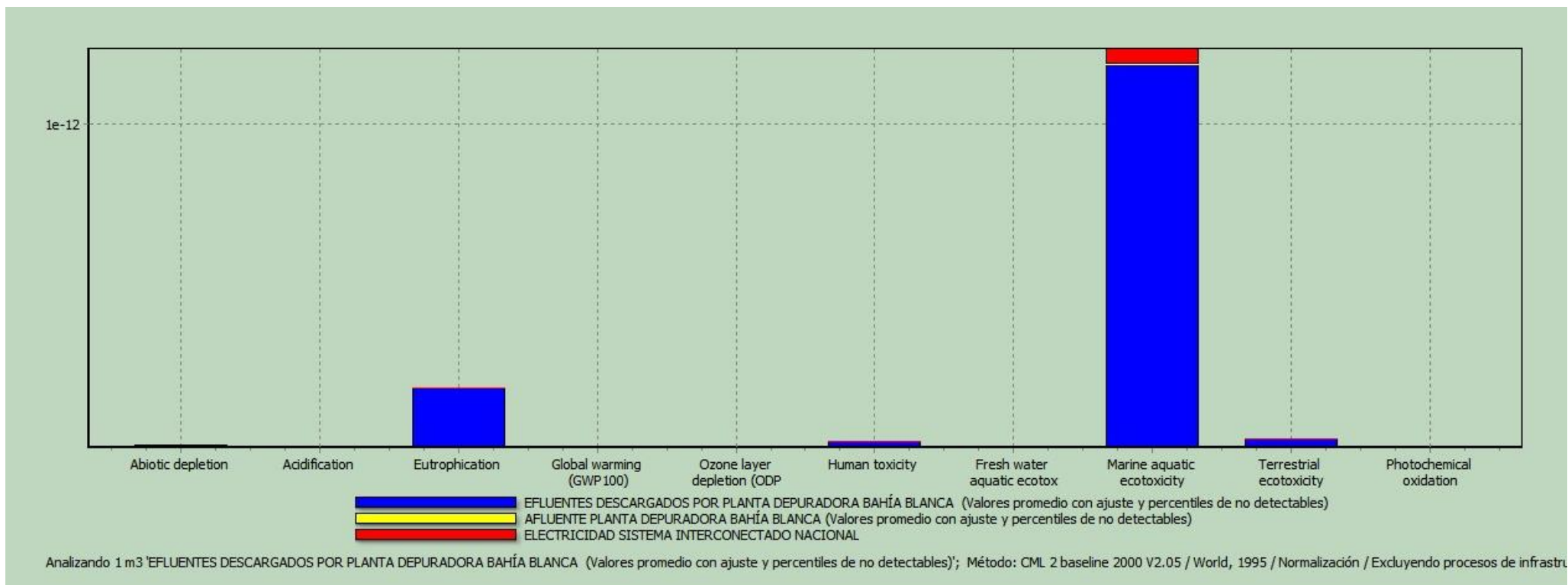


Figura 27 - Gráfico correspondiente a la normalización del proceso de 1 m³ de efluente descargado

Figura que muestra la normalización del proceso de 1 m³ del efluente descargado al estuario por la PTBB. Debe tenerse en cuenta que la normalización transforma cada resultado de la caracterización, multiplicándolos por los valores de referencia indicados en la columna "Normalización" de la Tabla 21. Tal factor se calcula en función de las emisiones anuales para una determinada zona. En el caso de estudio se utilizan las correspondientes a los años 1990 y 1995 a nivel mundial. En éste grafico se aprecia a simple vista como contribuye cada una de las categorías de impacto en la problemática ambiental global.

5.4. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PROPUESTA Y SU ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

A partir de las condiciones actuales de vuelco, respecto a los caudales y parámetros de descarga de las aguas residuales, y considerando el necesario acondicionamiento para cumplir con los límites determinados para su reutilización en el polo petroquímico local, como alimentación en sus procesos productivos, y como agua de riego, se plantea la adecuación de la planta actual a una con tratamiento convencional más terciario.

La planta propuesta, consta de una línea de tratamiento de aguas, con un pretratamiento, decantación primaria, tratamiento biológico, y un tratamiento terciario, de tipo ultrafiltración seguido de una ósmosis inversa. La línea de fangos posee un espesador tipo de gravedad, un digestor biológico anaeróbico y un deshidratador de tipo filtro prensa (Figura 28).

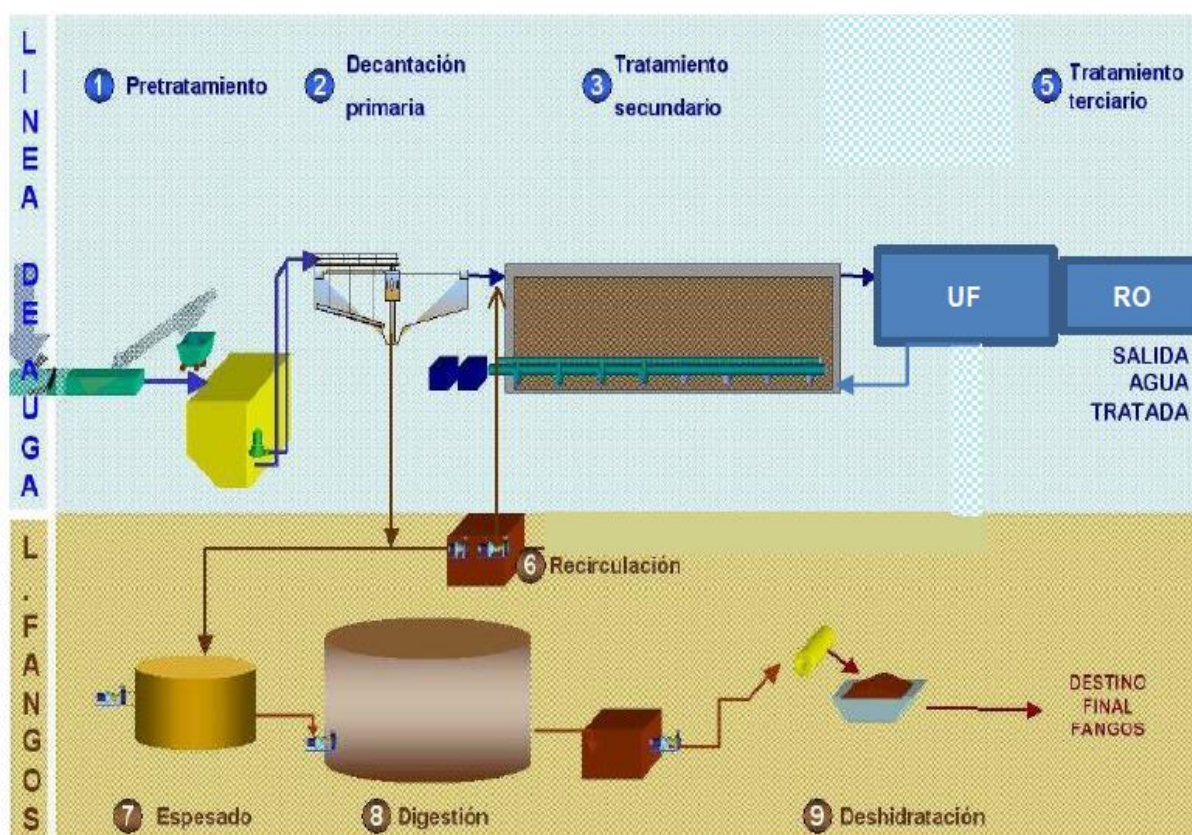


Figura 28 – Esquema de la planta de tratamientos propuesta

Antes de realizar la decantación primaria debe realizarse la homogeneización del efluente descrita en el Capítulo 2, inciso 2.2.2 del presente trabajo.

5.4.1. Línea de aguas

El pretratamiento (punto 1 Figura 28) estaría compuesto por un sistema de rejas finas, filtros rotativos de las características de los instalados actualmente y que se encuentran fuera de servicio, canaleta parshall para medición de caudales y un desarenador-desengrasador tipo aireado.

El tratamiento primario constaría de un decantador primario para la extracción de sólidos sedimentables (Figura 29).

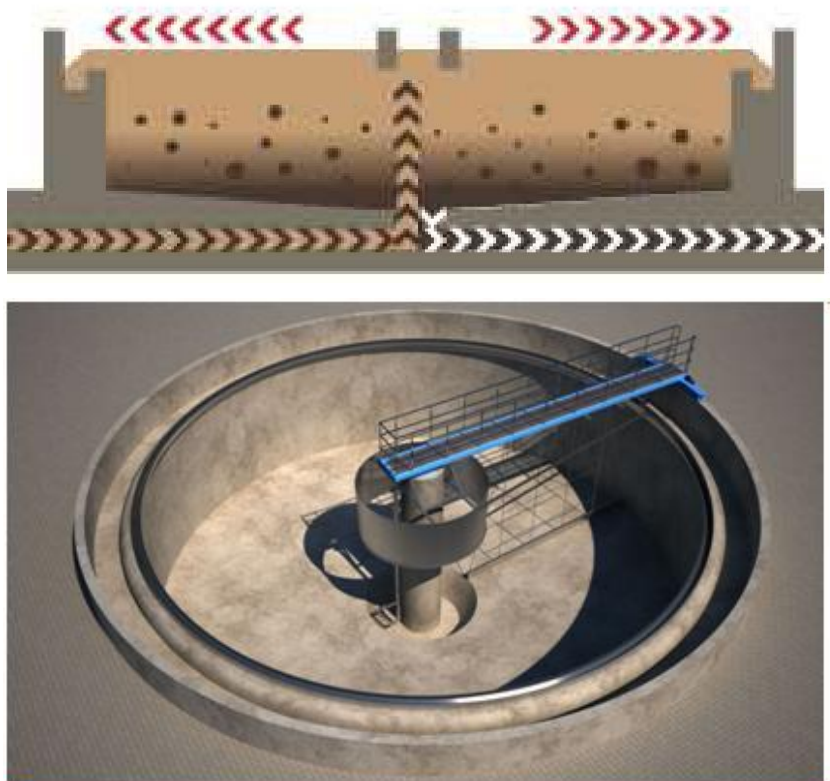


Figura 29 – Decantador primario

El tratamiento secundario sería de tipo biológico, compuesto por un reactor anóxico, donde bacterias anaerobias eliminan compuestos

nitrogenados en forma de nitrógeno gaseoso, que se emite al aire, y un reactor aerobio con sistema de aireación por difusión (Figura 30). Mediante este sistema se suministra aire a baja presión forzado mediante tuberías con orificios en el fondo del reactor.

La aeración permite mezclar los lodos procedentes del tratamiento primario, mantener los lodos activos en suspensión, y suministrar oxígeno para las reacciones bioquímicas necesarias para estabilizar las aguas residuales.

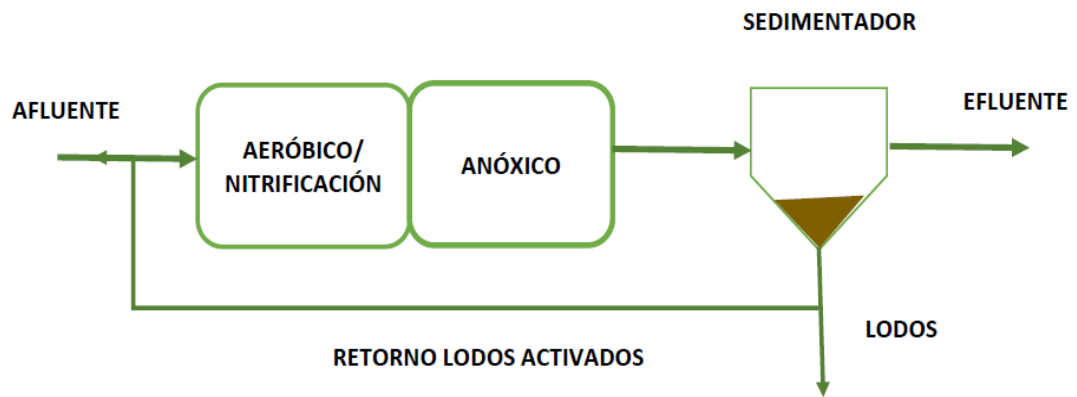


Figura 30 – Reactor biológico (Metcalf y Eddy, 2003)

La cantidad de oxígeno necesaria se puede calcular de forma teórica conociendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de los residuos, la cantidad diaria de residuos generados por la biomasa microbiana y el tipo de tratamiento (por ejemplo eliminación de fósforo, nitrógeno, etc.). En la práctica se proporciona aire para mantener al menos 2 mg/l de oxígeno disuelto en todas las condiciones de carga en todas las partes del tanque.

El tratamiento terciario propuesto prevé ultrafiltración y ósmosis inversa (OI), tal como el desarrollado en el Capítulo 2 del presente trabajo

(Figura 31). Este sistema tiene la ventaja, sobre otros tipos de tratamiento, que al ser de tipo modular, pueden ser ampliados según las necesidades.

Teniendo en cuenta los parámetros de ingreso al sistema en estudio, y asistido por el programa de diseño "RO MEMBRANE SYSTEM DESIGN SOFTWARE" (CMSPRO Ver. 5), de la empresa CUSTOMER SATISFACTION MEMBRANES, se efectuó el cálculo de diseño y de la eficiencia teórica del tratamiento de OI (Figura 32), cuyos valores de salida pueden verse en la Tabla 22.

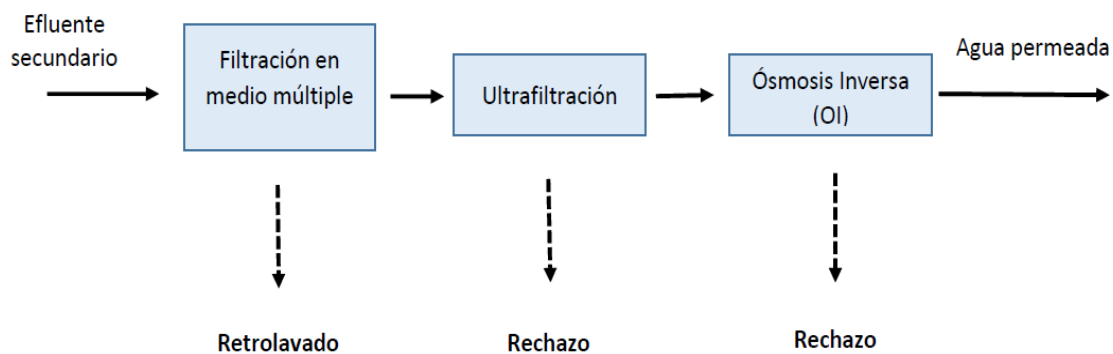


Figura 31 – Esquema de tratamiento terciario propuesto

Los valores de ingreso al sistema son los mismos de las Tablas 17 y 18 utilizados para los cálculos de las condiciones actuales de vuelco de la Planta de Tratamiento Bahía Blanca. A los datos de ingreso se le efectuaron los cálculos de disminución correspondientes al rendimiento teórico de cada tipo de tratamiento hasta la entrada del sistema de OI, donde se utilizó el programa de cálculos referido anteriormente.

Tabla 22 - Parametros de entrada medidos y de salida calculafos Planta Depuradora Propuesta (Elaboración propia)

VALORES DE ENTRADA PRIMERA CUENCA					DESCARGA LINEA DE AGUA								VALORES LIMITE PARA SU UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIARIEGO			LINEA DE LODOS	
MUESTRA	MAYOR VALOR	PROMEDIO GENERAL	PROMEDIO AJUSTADO	PERCENTIL MAYOR DE NO DETECTABLES	TRATAMIENTO PRIMARIO		TRATAMIENTO SECUNDARIO		TRATAMIENTO UF		TRATAMIENTO OI		REQUERIMIENTO INDUSTRIA	LÍMITE ADMISIBLE RIEGO	CONDICIÓN LÍMITE	LODOS GENERADOS (m3)	MATERIA SECA EN FANGOS (ton)
					% REDUCCIÓN	VALOR CALCULADO SALIDA	% REDUCCIÓN	VALOR CALCULADO SALIDA	% REDUCCIÓN	VALOR CALCULADO SALIDA	% REDUCCIÓN	VALOR CALCULADO SALIDA					
CAUDAL (m3/h)		1750,0			0	1750,0	1	1732,5	5	1645,9	25,00	1234,4				19,3	4,04
CONSUMO ELÉCTRICO (Kw-h/m3)					0,2857		0,4000		0,3143		0,4286					% TRANS LINEA AGUAS (Doka, 2007)	MATERIA SECA EN FANGOS
Conductividad eléctrica	1611,00	1587,00			0	1587,0000	0	1587,0000	10	1428,3000	98	28,56600	No informado	No informado			
pH (upH)	8,40	8,01111			0	8,0111	0	8,0111		8,0111	13	6,96967	7,5 - 8,5		7,5 - 8,5		
Temperatura (°C)	25,20	21,33846			0	21,3385	0	21,3385		21,3385		21,33846	< 671,0	70-300	70-300		
DQO compl. (mg/l)	674,00	380,12000			0	380,1200	93	26,6084	87	3,4591	92,8	0,24905	≤ 30,0		≤ 30,0		
DBO compl. (mg/l)	241,00	186,05000			0	186,0500	97	5,5815	93	0,3907	92,9	0,02774	≤ 1,0		≤ 1,0		
Sólidos sedim 10' (mg/l)	5,00	2,48462			65	0,8696	95	0,0435	90	0,0043	98	0,00009					
Sólidos sedim 2 h (mg/l)	5,00	3,32308			65	1,1631	95	0,0582	90	0,0058	98	0,00012					
Sólidos totales (mg/l)	1397,50	1235,63462			0	1235,6346	0	1235,6346		1235,6346		1235,63462	≤ 10,0		≤ 10,0		
Sólidos fijos (mg/l)	870,00	759,60000			0	759,6000	0	759,6000		759,6000		759,60000					
Sólidos volátiles (mg/l)	602,50	442,59259			0	442,5926	0	442,5926		442,5926		442,59259					
Sólidos disueltos totales (mg/l)	1097,50	1051,25000			0	1051,2500	0	1051,2500	14	904,0750	98	18,08150					
Sólidos disueltos fijos (mg/l)	700,00	594,16667			0	594,1667	0	594,1667	14	510,9833	98	10,21967					
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	0,00	184,38462			60	73,7538	90	73,7538	90	7,3754	99,8	0,01475					
Sólidos disueltos volátiles (mg/l)	527,50	457,08333			0	457,0833	0	457,0833	14	393,0917	98	7,86183					
Nitrógeno Tot. (mg/l)	46,60	38,07407			0	38,0741	76	9,1378	58	3,8379	82	0,69802	5,0 - 30,0		5,0 - 30,0	22,3	8,49052
Sulfuros (mg/l)	0,72	0,19630			0	0,1963	0	0,1963	1	0,1943	99	0,00194				0	0,00000
Plomo (mg/l)	0,03	0,01488		0,01116	0	0,0112	90	0,0011	14	0,0010	99	0,00001	< 0,05	5,0	< 0,05	90	0,01004
Cobre (mg/l)	0,08	0,03715			0	0,0371	75	0,0093	14	0,0080	99	0,00008	< 0,05	0,2	< 0,05	75	0,02786
Cinc (mg/l)	0,20	0,11150	0,08259		0	0,0826	70	0,0248	14	0,0213	99	0,00021	< 0,01	2,0	< 0,01	70	0,05781
Cromo (mg/l)	0,06	0,01740		0,01131	0	0,0113	50	0,0057	14	0,0049	99	0,00005	< 0,03	0,1	< 0,03	50	0,00566
Cadmio (mg/l)	0,00	< 0,005			0	< 0,005	50	< 0,0025	14	< 0,0025	99	< 0,0025	< 0,005	0,01	< 0,005	50	< 0,0025
Cobalto (mg/l)	< 0,01	< 0,01			0	< 0,01	50	< 0,005	14	< 0,005	99	< 0,005				50	< 0,005
Bario (mg/l)	0,29	0,16625	0,12931		0	0,1293	50	0,0647	14	0,0556	99	0,00056	< 0,025		< 0,025	50	0,06465
Niquel (mg/l)	0,05	0,02667		0,02267	0	0,0267	40	0,0160	14	0,0138	99	0,00014	< 0,1	0,2	< 0,1	40	0,01067
Vanadio (mg/l)	0,20	0,13707			0	0,1371	50	0,0685	14	0,0589	99	0,00059	< 0,01	0,1	< 0,01	50	0,06854
Talio (mg/l)	< 0,010	< 0,010			0	< 0,010	50	< 0,010	14	< 0,010	99	< 0,010	< 0,1		< 0,1	50	< 0,1
Estaño (mg/l)	0,03	0,01715		0,01029	0	0,0103	59	0,0042	14	0,0036	99	0,00004	< 0,05	-	< 0,05	59	0,00607
Titanio (mg/l)	0,13	0,03035	0,02248		0	0,0225	50	0,0112	14	0,0097	99	0,00010	< 0,01	-	< 0,01	50	0,01124
Berilio (mg/l)	< 0,010	< 0,010			0	< 0,010	50	< 0,005	14	< 0,005	99	< 0,005	< 0,005	0,1	< 0,005	50	< 0,005
Antimonio (mg/l)	< 0,010	< 0,010			0	< 0,010	50	< 0,005	14	< 0,005	99	< 0,005	< 0,1		< 0,1	50	< 0,005
Sodio (mg/l)	310,00	238,8148			0	238,8148	0	238,8148	14	205,3807	97	6,16142	70,0	3,0 - 9,0	3,0 - 9,0	0	0,00000
Selenio (mg/l)	0,03	0,01900		0,01615	0	0,0162	50	0,0081	14	0,0069	99	0,00007	< 0,01	0,02	< 0,01	50	0,00808
Boro (mg/l)	0,65	0,49950	0,37000		0	0,3700	50	0,1850	14	0,1591	99	0,00159	0,24	0,7 - 3,0	0,24	50	0,18500
Arsénico (mg/l)	0,04	0,02508			0	0,0251	22	0,0196	14	0,0168	99	0,00017	< 0,1	0,1	< 0,1	22	0,00552
Aluminio (mg/l)	2,40	0,84444			0	0,8444	95	0,0422	14	0,0363	99	0,00036	0,4	5,0	0,4	95	0,80222
Estroncio (mg/l)	0,46	0,37750			0	0,3775	50	0,1888	14	0,1623	99	0,00162	< 0,05		< 0,05	50	0,18875
Fluoruros (mg/l)	1,80	1,21111			0	1,2111	0	1,2111	14	1,0416	99	0,01042	1,0	1,0	1	0	0,00000
Cianuros (mg/l)	0,01	0,01000		0,00750	0	0,0075	0	0,0075	14	0,0065	99	0,00006	40,0		40	0	0,00000
Cloruros (mg/l)	300,00	250,88889			0	250,8889	0	250,8889	14	215,7644	99	2,15764				0	0,00000
Mercurio (mg/l)	0,00180	0,00091			0	0,0009	70	0,0003	14	0,0002	99	0,00000233	< 0,005		< 0,005	70	0,00063
Coliformes fecales (NMP/100ml)	4,80E+07	1,13E+07			0	1,1294E+07	60	4,52E+06	90	4,5174E+05	99,9	~0				60	6,78E+06
E. Coli (UFC/100ml)	1,90E+08	2,57E+07			0	2,5702E+07	60	1,03E+07	90	1,0281E+06	99,9	~0				60	1,54E+07
Enterococcus spp.(UFC/100ml)	2,40E+07	1,78E+06			0	1,7830E+06	60	7,13E+05	90	7,1318E+04	99,9	~0				60	1,07E+06

Nota: Los valores indicados en color verde indica el valor ingresado al programa de cálculo

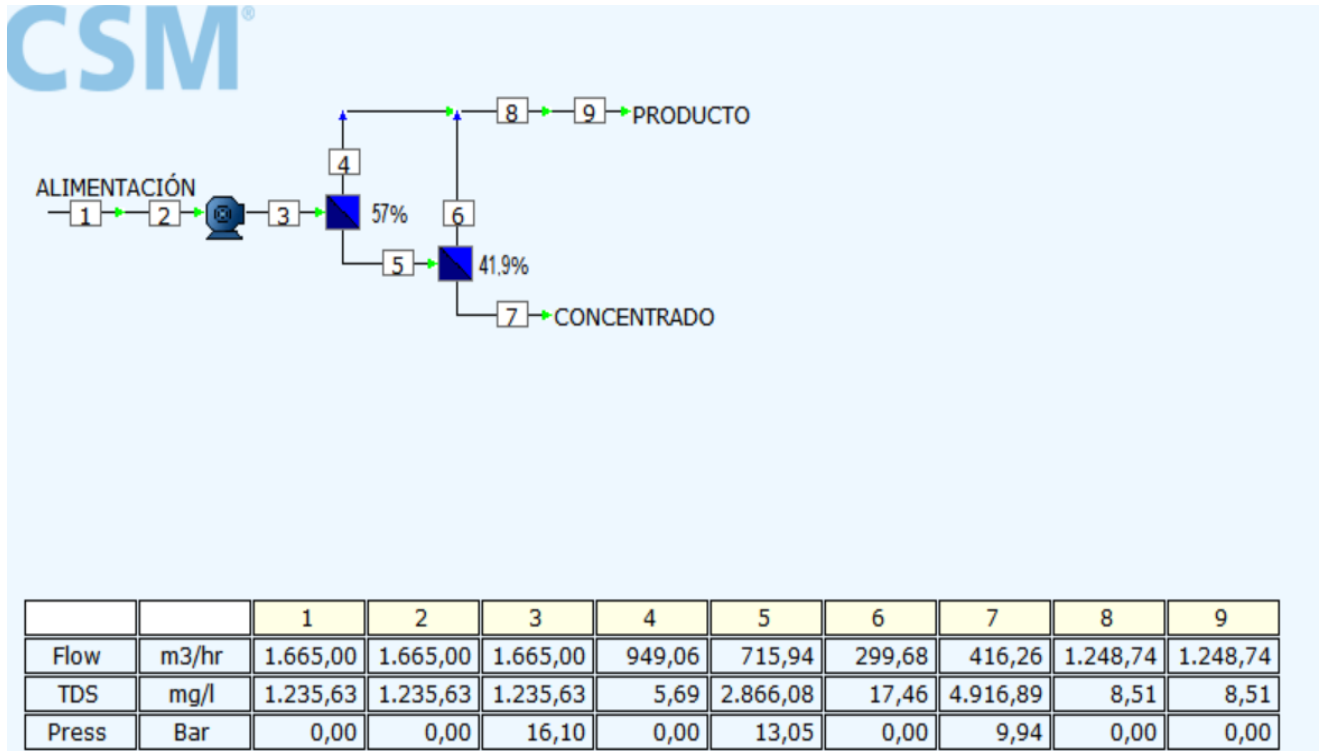


Figura 32 – Esquema de diseño del sistema de tratamiento de OI con CMSPRO 5

La Figura 32 muestra el esquema de diseño calculado por el programa CMSPRO 5, donde pueden apreciarse dos salidas del sistema, la primera al producto permeado (punto 9) y la otra corresponde a la salida del concentrado (punto 7). Nótese la reducción en el caudal (Flow) a la salida, producto del rechazo propio del proceso de OI.

La Tabla 23 presenta los datos complementarios arrojados por el programa de diseño CMSPRO 5. Los datos se presentan en idioma inglés, tal y como los muestra el programa de cálculo de diseño utilizado.

Debido a que en la fase retenida por las membranas se concentran las sustancias que son eliminadas del agua tratada, se debe evaluar la disposición final del rechazo de los procesos de ultra filtración y ósmosis inversa.

Tabla 23 – Detalles del diseño del Sistema de OI desarrollado con CSMPRO 5

<u>Projection Details :</u>			
<Pass 1>			
Feed flow into RO system	1.665,00 m3/hr	Membrane Age	0,00 year(s)
Permeate Flow	1.248,75 m3/hr	Flux decline rate	5,00 %/year
Pass Recovery	75,00 %	Salt passage increase	5,00 %/year
Feed TDS	1235,63 mg/L	Average permeate flux	35,91 lmh
Permeate TDS	8,51 mg/L	Feed Osmotic Pressure	1,02 Bar
Concentrate TDS	4.916,9 mg/L	Concentrate Osmotic Pressure	3,98 Bar
Salt rejection	99,31 %	Chfem. dose	0,00 mg/L
Feed Pressure	16,10 Bar	Permeate Blending	0,00 m3/hr
Temperature	22,00 C	Softener	No
Feed water type	RO/UF Permeado SDI< 1		
Array Recycle	No		
Array	1	2	
Element Model	RE16040-BE	RE16040-BE	
No. of Pressure Vessel	26	13	
Elements per PV	6	6	
Boost pump pressure (Bar)	0,00	0,00	
Permeate back pressure (Bar)	0,00	0,00	
<u>System Configuration</u>			
<Pass 1>			
Designated Product Flow	1.248,74 m3/hr	No. of Pressure Vessel	39
Membrane Type and Model	RE16040-BE	No. of Element	234
Array Configuration	2 Array, 26-13 , 6 elements/pressure vessel		
Recover Ratio	75 %	Average Permeate Flux	35,91 lmh

5.4.2. Línea de fangos

En cuanto al tratamiento de los fangos, el proceso constaría de tres etapas: espesamiento, estabilización y deshidratación.

La primera etapa del proceso se realizaría en un espesador de dos etapas (Figura 33) donde el fango más espeso se recoge en el fondo de un decantador primario (Figura 33-1), que actúa por gravedad y por la adición de un coagulante de tipo polielectrolito, y un espesador de fango secundario, donde el fango espeso sube hacia la superficie arrastrado por burbujas de aire (Figura 33.3). Los dos tipos de fango se mezclan en el mezclador.

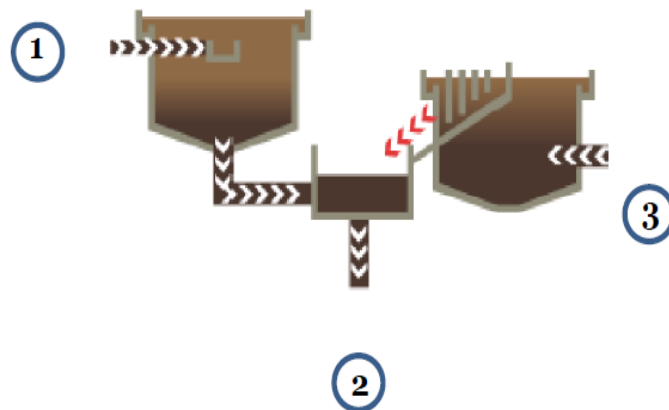


Figura 33 - Espesador

Para realizar la estabilización se contaría con un digestor (Figura 27.8) del tipo anaeróbico mesofílico (ver Capítulo 2, inciso 2.2.2.2 del presente trabajo). En el presente estudio no se contempló la utilización del biogás producto de la digestión como combustible para la producción de energía, aunque podría ser considerado en futuras líneas de investigación.

Para realizar la deshidratación se utilizaría un medio mecánico, del tipo filtro prensa, mediante el cual se obtiene un fango de consistencia pastosa, el que se almacena para un proceso posterior de compostaje.

5.4.3. Evaluación del Impacto del ACV de la planta de tratamientos propuesta - Interpretación de los resultados

En la Figura 34 se muestra la red de interrelaciones (24 de las 1594) que realiza el programa para efectuar el cálculo del impacto de la planta propuesta.

También para la planta de tratamiento propuesta se consideró la descarga al compartimiento ambiental "Río". Y de igual manera que para el caso de la Planta depuradora Bahía Blanca, se adjunta como Anexo 2 la

comparación de los resultados considerando al estuario mar abierto. Tampoco en este caso se aprecian diferencias de consideración.

De la caracterización del proceso puede apreciarse que también en esta oportunidad la mayoría de las categorías son impactadas por el proceso de obtención de electricidad. Se suma a ello el efecto del coagulante de fangos utilizado (hidróxido de aluminio), en la Ecotoxicidad del agua superficial, marina y humana. No ocurre lo mismo con el floculante utilizado en la línea de fangos, cuyo aporte es prácticamente despreciable. (Tabla 24 y Figura 35)

Los valores negativos corresponden a la disminución, en las categorías que así lo presentan, de los efectos adversos a causa del reemplazo del producto del proceso por otro cuya generación se ha evitado en igual medida. Tal es el caso de la utilización de agua regenerada como reemplazo del agua cruda destinada a la industria. Otro caso es la posibilidad de la utilización de los lodos como fertilizante.

Para el caso del fango utilizado como fertilizante, y como se enuncia en la página 97, se consideró que la carga evitada por aplicación de dichos fangos (como materia seca en fangos) reemplaza un 50 % de un fertilizante industrial. En ese sentido, en la aplicación de cargas evitadas ingresadas al programa de cálculo se consideró la parte proporcional correspondiente a la Unidad Funcional (1m³ de agua regenerada al finalizar el proceso). Teniendo en cuenta que la materia seca en fango es de 4,04 Ton (ver Tabla 22), correspondería 3,24368 kg de materia seca en fango por cada m³ de agua tratada. Así se ingresó como "Salidas a la tecnosfera. Productos evitados" al programa de cálculo la mitad de dicho valor, 1,62184 kg de fertilizante industrial (Compost, at plant/CH U).

Figura 34 – Gráfico en Red de interrelaciones en el proceso de regeneración de agua producido en la planta de tratamientos propuesta (24 de 1594 nodos. Análisis efectuado con SimaPro 8.02)

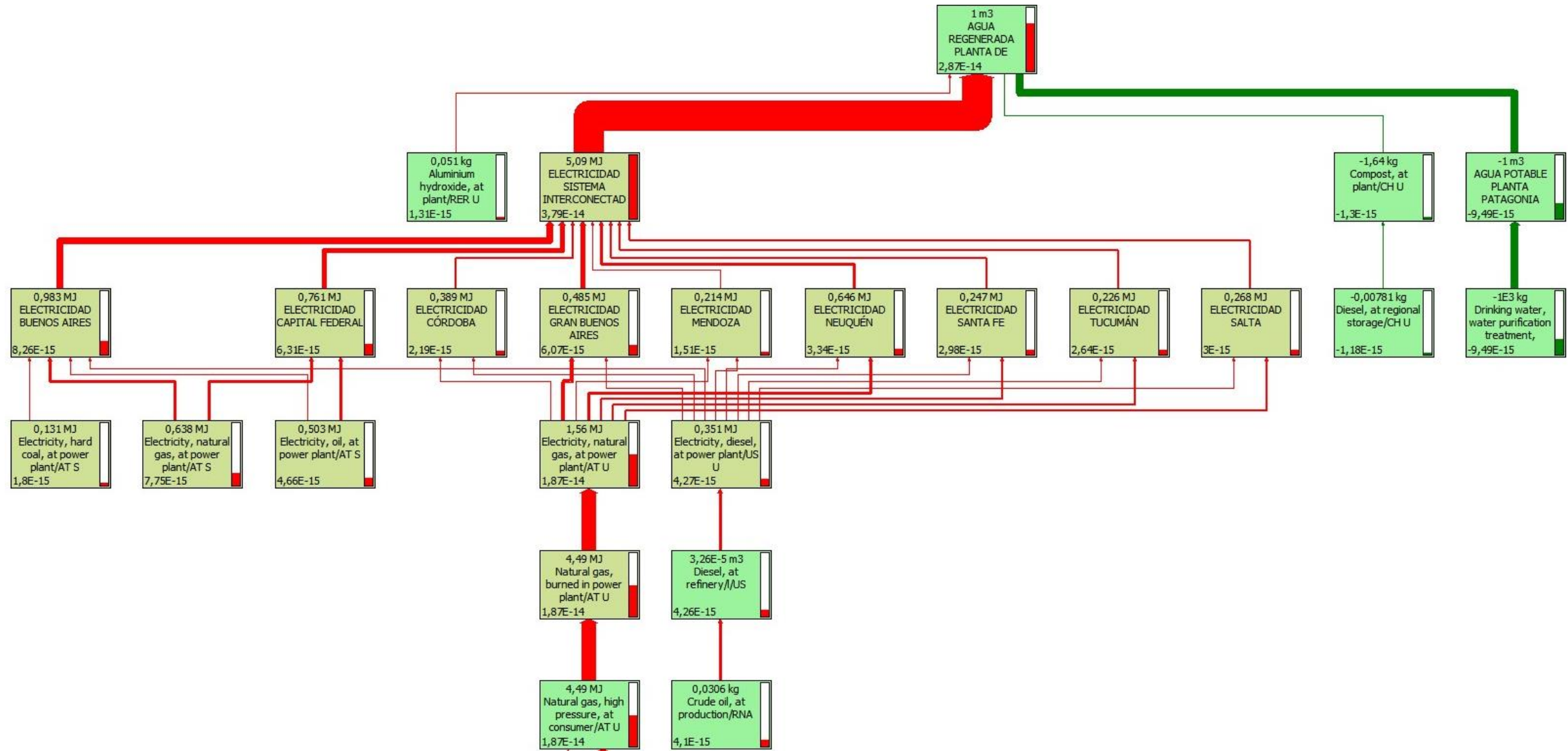


Tabla 24 - Caracterización del análisis de impacto de 1m³ de efluente regenerado

Tabla que muestra la caracterización del proceso de 1 m³ del efluente regenerado por la planta depuradora propuesta. En este caso, al igual que en las anteriores tablas de caracterización, las primeras tres columnas refieren a las diez categorías de impacto consideradas por el método CML 2001 - Baseline, las unidades de cada uno de los indicadores y la sumatoria total de las intervenciones en términos de unidades equivalentes. De la cuarta a la última refieren a cada uno de los subprocesos, materiales y productos evitados que contribuyen al proceso, indicando en unidades equivalentes, la contribución de cada una de estos en la categoría de impacto correspondiente.

SimaPro 8.0.2 Proyecto Análisis de impacto AGUAS RESIDUALES FINAL Fecha: 06/11/2014 Período: 17:25										
Cálculo: Analizar Resultado: Evaluación del impacto 1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (of project AGUAS RESIDUALES FINAL)										
Producto: Método: CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995 Indicador: Caracterización Omitir categorías: Nunca Excluir procesos de infraestructura: Sí Excluir emisiones a largo plazo: Si Ordenado por: Categoría de impacto Orden de clasificación: Ascendente										
Categoría de impacto	Unidad	Total	AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA	AFLUENTE PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA	Acrylonitrile, at plant/RNA	Aluminium hydroxide, at plant/RER U	ELECTRICIDAD SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL	Compost, at plant/CH U	AGUA DIQUE PASO PIEDRAS	LODOS PRODUCTO DEL TRATAMIENTO
Agotamiento de los recursos abióticos	kg Sb eq	0,004495534	0	1,51658E-05	3,46428E-05	0,000204661	0,005930129	-0,000204064	0	0
Acidificación	kg SO ₂ eq	-0,003151999	0	0	1,05295E-05	0,000173887	0,001277379	-0,003022051	0	0
Eutrofización	kg PO ₄ --- eq	-0,000602869	0,000295623	0	8,8275E-07	6,7515E-05	0,000171662	-0,000696504	0	1,16703E-05
Calentamiento Global (GWP100)	kg CO ₂ eq	-0,330616216	0	0	0,002024047	0,031708314	0,759281719	-0,498736786	0	0
Disminución de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,16091E-07	0	0	3,95008E-14	3,73172E-09	1,2901E-07	-4,7823E-09	0	0
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	0,196205819	0,004276255	0	0,000539534	0,046240863	0,172705689	-0,006393282	0	0,005825844
Ecotoxicidad del agua superficial	kg 1,4-DB eq	0,13807642	0,000336184	0	0,00010329	0,094128935	0,044594265	-0,001974925	0	0,00121095
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	247,1068782	2,23798972	0	0,386445921	99,96734232	150,4941064	-4,056900721	0	1,397900887
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,000729967	2,1669E-06	0	3,58806E-07	6,50094E-05	0,000404588	-2,61199E-05	0	0,00050222
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C ₂ H ₄ eq	-6,06498E-05	0	0	7,27829E-07	6,54894E-06	9,39559E-05	-0,00010874	0	0

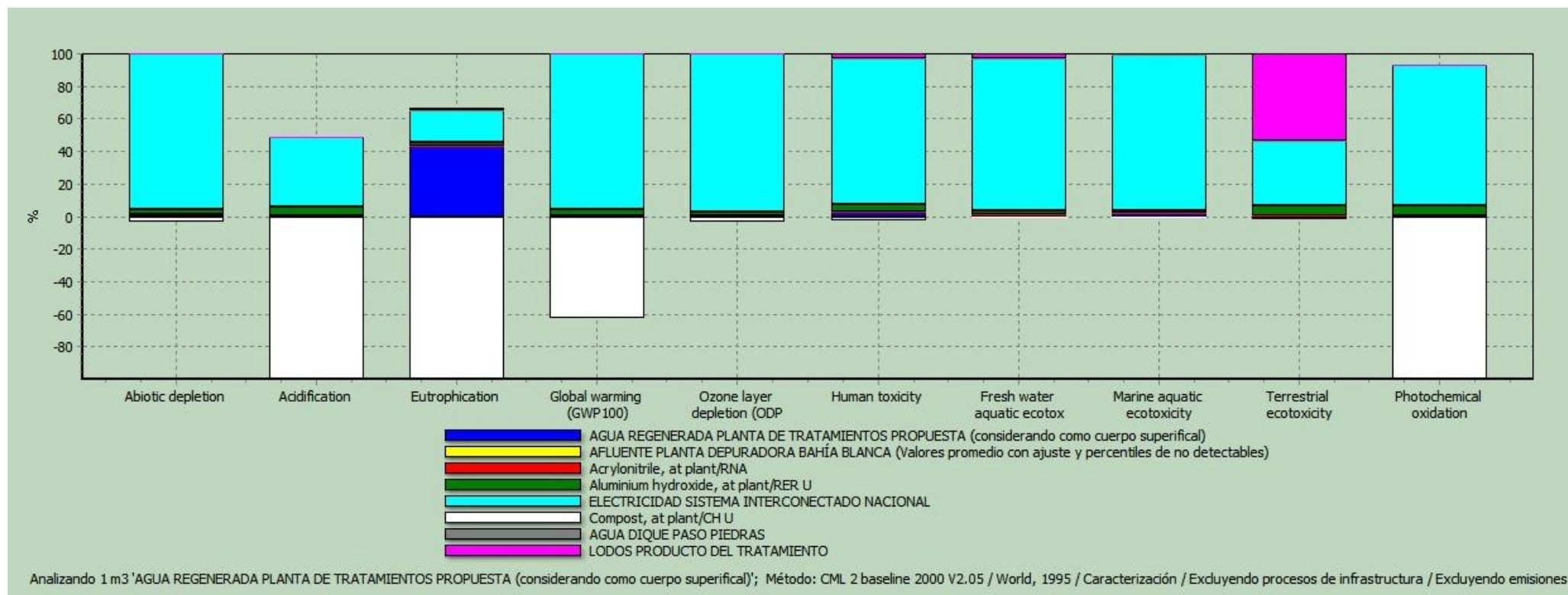


Figura 35 – Caracterización de 1m³ de agua regenerada producida en la planta de tratamientos propuesta

La figura representa la caracterización del proceso de 1 m³ del efluente regenerado por la planta depuradora propuesta, utilizando el método CML 2001 – Baseline. Cada columna muestra en que porcentaje influyen los subprocesos intervinientes, a los que se sumaron las entradas al sistema de materiales utilizados en el proceso, tal el caso de las sales de aluminio utilizadas como coagulante (hidróxido de aluminio) y el floculante del tipo polielectrolito (acrylonitrile).

Nótese que los valores negativos corresponden a los denominados “productos evitados”. Los mismos son aquellos materiales o procesos que se evita producir o fabricar (de allí su denominación), como consecuencia del proceso analizado. Tal es el caso de los fangos que sirven de reemplazo a cierto tipo de fertilizante (compost) como el mismo producto del proceso, el agua regenerada, que disminuye la explotación de agua cruda del dique en igual proporción que la regenerada.

Nótese que la utilización de tales fangos como fertilizante produce efectos benéficos en ocho de las diez categorías de impacto analizadas, con valores relevantes en acidificación, eutrofización y en la formación de oxidantes fotoquímicos. También reduce considerablemente el calentamiento global. En todos los casos contrarresta, y como puede apreciarse en el gráfico, aun supera el efecto negativo producido por la utilización de combustibles fósiles para la generación eléctrica.

Normalizados los resultados, puede apreciarse nuevamente que la categoría de impacto más relevante es la toxicidad marina, producida, en ésta oportunidad por la generación eléctrica y en muy menor medida por el precipitante utilizado en el proceso (Tabla 25 y Figura 36). A la toxicidad marina le sigue el agotamiento de recursos, tal es el caso de combustibles fósiles utilizados en la generación eléctrica. Por su parte, también produce un ahorro en tal sentido la regeneración de agua.

Le sigue el calentamiento global producto de los gases de efecto invernadero emitidos a partir de los combustibles utilizados para la generación eléctrica. Como contrapartida, el agua regenerada y el fango producido y utilizado como fertilizante, que remplazan a la producción de tales productos en iguales medidas, conllevan una disminución en la sumatoria de afectación de ésta categoría de impacto.

En menor medida continúan la toxicidad de las aguas superficiales, la humana y terrestre, con origen en las mismas causas que las del ambiente marino.

Tabla 25 – Normalización del análisis de impacto de 1m³ de efluente regenerado

Tabla que muestra la normalización del proceso de 1 m³ del efluente regenerado por la planta depuradora propuesta. En este caso, al igual que en las anteriores tablas de normalización, las primeras tres columnas refieren a las diez categorías de impacto consideradas por el método CML 2001 – Baseline, los factores de normalización de cada una de ellas y la sumatoria total correspondiente a cada una de las categorías. De la cuarta a la última refieren a cada uno de los subprocesos, materiales y productos evitados que contribuyen al proceso, indicando en unidades equivalentes, hasta qué grado cada categoría de impacto contribuye en forma significativa al problema ambiental global.

SimaPro 8.0.2 Proyecto Análisis de impacto Fecha: 06/11/2014 Período: 17:25 AGUAS RESIDUALES FINAL										
Cálculo: Analizar Resultado: Evaluación del impacto 1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (of project AGUAS RESIDUALES FINAL) Producto: Método: CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995 Indicador: Caracterización Omitir categorías: Nunca Excluir procesos de infraestructura: Sí Excluir emisiones a largo plazo: No Ordenado por: Categoría de impacto Orden de clasificación: Ascendente										
Categoría de impacto	Normalización World (1990 and 1995)	Total	AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA	AFLUENTE PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA	Acrylonitrile, at plant/RNA	Aluminium hydroxide, at plant/RER U	ELECTRICIDAD SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL	Compost, at plant/CH U	AGUA DIQUE PASO PIEDRAS	LODOS PRODUCTO DEL TRATAMIENTO
Agotamiento de los recursos abióticos	6,32E-12	2,87265E-14	0	9,69092E-17	2,21368E-16	1,30778E-15	3,78935E-14	-1,30397E-15	0	0
Acidificación	3,09E-12	-9,80272E-15	0	0	3,27468E-17	5,40787E-16	3,97265E-15	-9,39858E-15	0	0
Eutrofización	7,53E-12	-5,15218E-15	2,23491E-15	0	6,67359E-18	1,40981E-16	1,01353E-15	-5,2064E-15	0	8,82276E-17
Calentamiento Global (GWP100)	2,27E-14	-7,96785E-15	0	0	4,87795E-17	7,6417E-16	1,82987E-14	-1,20196E-14	0	0
Disminución de la capa de ozono (ODP)	8,76E-10	2,25216E-16	0	0	7,66316E-23	7,23954E-18	2,50279E-16	-9,27765E-18	0	0
Toxicidad humana	1,67E-14	2,56038E-15	7,48345E-17	0	9,44184E-18	1,46682E-16	2,77832E-15	-7,85412E-17	0	1,01952E-16
Ecotoxicidad del agua superficial	4,83E-13	1,72138E-14	1,6473E-16	0	5,06119E-17	3,88639E-16	1,62924E-14	-1,17995E-16	0	5,93365E-16
Ecotoxicidad marina	1,32E-15	2,55984E-13	4,36408E-15	0	7,5357E-16	4,51127E-15	2,51408E-13	-1,30435E-15	0	2,72591E-15
Ecotoxicidad terrestre	3,79E-12	2,58651E-15	8,06087E-18	0	1,33476E-18	2,3102E-16	1,36936E-15	-7,96161E-17	0	1,86826E-15
Formación de oxidantes fotoquímicos	9,59E-12	-6,30758E-16	0	0	7,56942E-18	6,8109E-17	9,77141E-16	-1,13089E-15	0	0

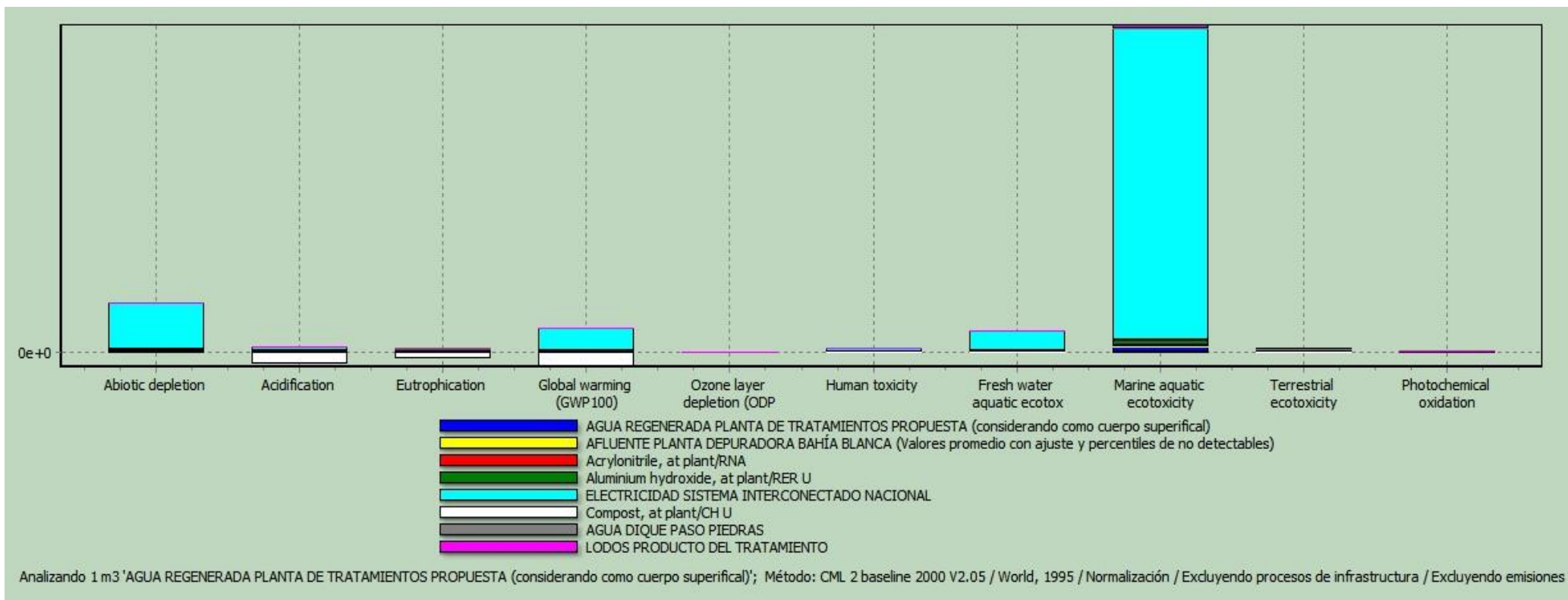


Figura 36 – Normalización de 1m³ de agua regenerada producida en la planta de tratamientos propuesta

Figura que muestra la normalización del proceso de 1 m³ del efluente regenerado por la planta depuradora propuesta. Debe tenerse en cuenta que la normalización transforma cada resultado de la caracterización, multiplicándolos por los valores de referencia indicados en la columna “Normalización” de la Tabla 25. En éste grafico se aprecia a simple vista como contribuye cada una de las categorías de impacto en la problemática ambiental global.

En este caso también se aprecia la reducción (valores debajo de cero) que implican los “productos evitados” en la carga que impacta el medio ambiente.

5.5. COMPARACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE AMBAS PLANTAS UTILIZANDO LA TÉCNICA DE ACV.

Hasta aquí se han estudiado ambas plantas por separado. Basta efectuar el análisis comparativo para determinar en qué porcentaje relativo afecta cada una de ellas al medio ambiente y, de esta manera, arribar a las conclusiones que permitan efectuar una propuesta medioambientalmente correcta.

Para efectuar la comparación de ambos ciclos de vida se utilizó el mismo software, que permitió determinar con exactitud tales diferencias.

Como puede apreciarse en los resultados, la regeneración de aguas residuales implica un mejor comportamiento ambiental que la descarga directa, con un impacto 97 % menor en la eutrofización, 83 % menor en la toxicidad humana, 75 % menor en la toxicidad marina y 57 % menor en el agua superficial. No obstante ello, implica, debido principalmente a la utilización de combustibles fósiles para la generación eléctrica necesaria para el proceso, un aumento cercano al 80 % en las categorías agotamiento de los recursos abióticos, calentamiento global, disminución de la capa de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos y acidificación (Tabla 26 y Figura 37). Normalizados los resultados, puede apreciarse que la toxicidad marina que implica la regeneración de los efluentes cloacales es el efecto más importante y es aproximadamente la cuarta parte de la que supone la descarga directa. Le sigue la eutrofización, que para el caso de la regeneración es prácticamente despreciable, la toxicidad del agua superficial del orden de la tercera parte respecto de la descarga directa, y la toxicidad humana, que también es prácticamente nula. Por contrapartida, el más considerable es el aumento del agotamiento de los recursos abióticos, seguido por el calentamiento global (Tabla 27 y figura 38).

Si se tiene en cuenta los llamados “productos evitados”, que como se dijo anteriormente, son aquellos cuya producción disminuye como consecuencia del proceso analizado, la regeneración de aguas residuales genera un impacto al medio ambiente mucho menor que la descarga directa del efluente. Inclusive conlleva mejoras en los aspectos ambientales (valores por debajo de cero). Tal es el caso de la acidificación, la eutrofización y la oxidación fotoquímica, puesto que la regeneración trae aparejada la sustitución de la explotación del agua cruda o la fabricación fertilizantes artificiales por los productos del tratamiento (Tabla 28 y Figura 39).

No obstante ello, la regeneración implica la utilización de combustibles fósiles, con el consiguiente impacto en el agotamiento de recursos, en el calentamiento global y en la capa de ozono.

Independientemente de lo señalado, y normalizados los resultados, puede apreciarse que la regeneración de aguas residuales implica un impacto sobre el estuario por debajo de la cuarta parte de lo que produce su descarga directa. En las mismas proporciones se encuentran la eutrofización, y las toxicidades terrestre y humana (Tabla 29 y Figura 40).

Tabla 26 – Resumen de la caracterización de la comparación de ambos procesos

Tabla que muestra la comparación del impacto del proceso de 1 m³ de efluentes para la obtención de agua regenerada respecto del proceso de la descarga directa, mediante la caracterización, sin considerar los “productos evitados”.

En este caso, al igual que en las anteriores tablas de caracterización, la primer columna refieren a las diez categorías de impacto consideradas por el método CML 2001 – Baseline, le sigue las unidades de cada uno de los indicadores y a continuación los valores para cada uno de los procesos, indicando en unidades equivalentes, la contribución de cada una de estos en la categoría de impacto correspondiente.

SimaPro 8.0.4	Análisis de impacto	Fecha:	14/12/2014
Proyecto	AGUAS RESIDUALES FINAL	Período:	18:56
Cálculo:	Comparar		
Resultado:	Evaluación del impacto		
Producto 1:	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial) (del proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL)		
Producto 2:	1 m3 EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables- cuerpo superficial) (del proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL)		
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Indicador:	Caracterización		
Omitir categorías:	Nunca		
Excluir procesos de infraestructura:	Sí		
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí		
Ordenado por:	Categoría de impacto		
Orden de clasificación	Ascendente		
Categoría de impacto	Unidad	PRODUCTO 1	PRODUCTO 2
Agotamiento de los recursos abióticos	kg Sb eq	0,006184979	0,001200305
Acidificación	kg SO2 eq	0,001461795	0,000255458
Eutrofización	kg PO4 eq	0,00046089	0,024380561
Calentamiento Global (GWP100)	kg CO2 eq	0,79301408	0,151845598
Disminución de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,32742E-07	2,58001E-08
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	0,177784675	1,019053868
Ecotoxicidad del agua superficial	kg 1,4-DB eq	0,035693332	0,084962722
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	135,2628825	542,300948
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,000934956	0,000919916
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	0,000101233	1,87898E-05

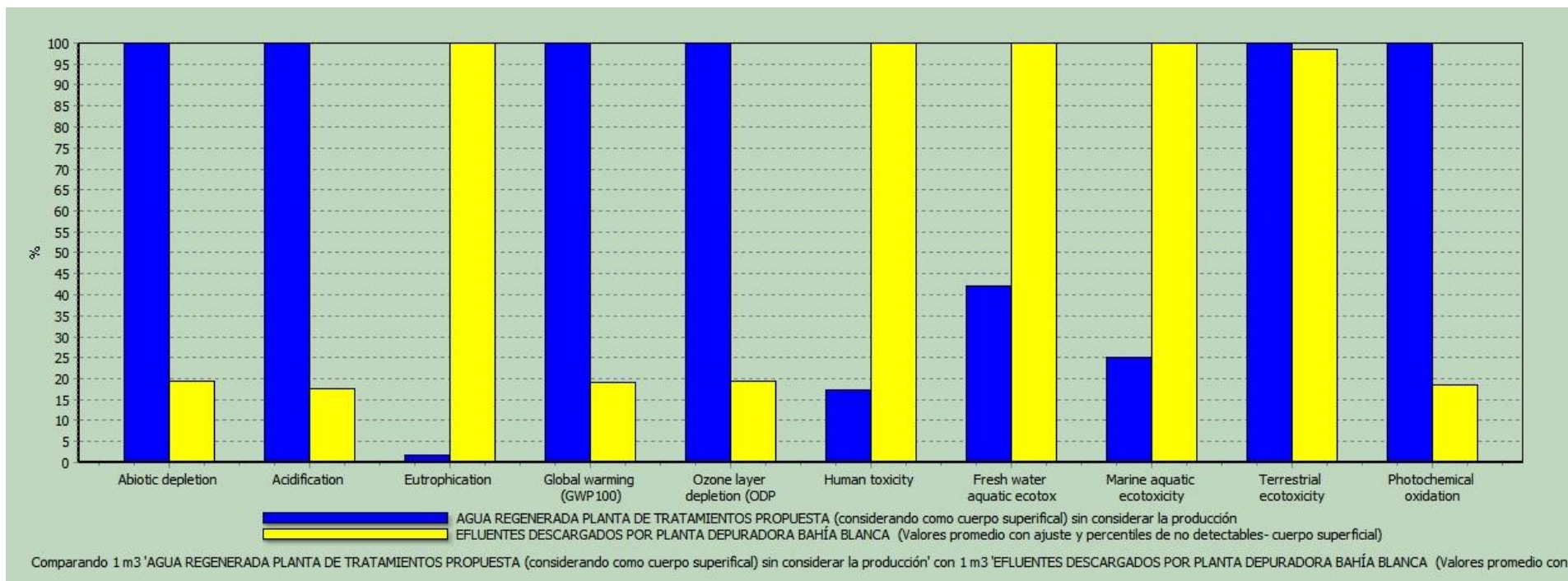


Figura 37 – Caracterización de la comparación de ambos procesos

La figura representa la comparación del impacto del proceso de 1 m³ de efluentes para la obtención de agua regenerada respecto del proceso de la descarga directa, mediante la caracterización, sin considerar los “productos evitados”. Cada columna muestra la comparación de ambos procesos para cada una de las diez categorías de impacto.

Tabla 27 – Resumen de la normalización de la comparación de ambos procesos

Tabla que muestra la normalización de la comparación del impacto del proceso de 1 m³ de efluentes para la obtención de agua regenerada respecto del proceso de la descarga directa, sin considerar los “productos evitados”. En este caso, al igual que en las anteriores tablas de normalización, la primer columna refieren a las diez categorías de impacto consideradas por el método CML 2001 – Baseline, le sigue las unidades de cada uno de los indicadores y a continuación los valores para cada uno de los procesos, indicando en unidades equivalentes, hasta qué grado cada categoría de impacto contribuye en forma significativa al problema ambiental global.

SimaPro 8.0.4	Análisis de impacto	Fecha:	14/12/2014
Proyecto	AGUAS RESIDUALES FINAL	Período:	19:25
Cálculo:	Comparar		
Resultado:	Evaluación del impacto		
Producto 1:	1 m³ AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial) (del proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL)		
Producto 2:	1 m³ EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables- cuerpo superficial) (del proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL)		
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Indicador:	Normalización		
Omitir categorías:	Nunca		
Excluir procesos de infraestructura:	Sí		
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí		
Ordenado por:	Categoría de impacto		
Orden de clasificación	Ascendente		
Categoría de impacto	Normalización World (1990 and 1995)	PRODUCTO 1	PRODUCTO 2
Agotamiento de los recursos abióticos	6,32E-12	3,9522E-14	7,66995E-15
Acidificación	3,09E-12	4,54618E-15	7,94473E-16
Eutrofización	7,53E-12	3,48433E-15	1,84317E-13
Calentamiento Global (GWP₁₀₀)	2,27E-14	1,91116E-14	3,65948E-15
Disminución de la capa de ozono (ODP)	8,76E-10	2,57519E-16	5,00523E-17
Toxicidad humana	1,67E-14	3,11123E-15	1,78334E-14
Ecotoxicidad del agua superficial	4,83E-13	1,74897E-14	4,16317E-14
Ecotoxicidad marina	1,32E-15	2,63763E-13	1,05749E-12
Ecotoxicidad terrestre	3,79E-12	3,47804E-15	3,42209E-15
Formación de oxidantes fotoquímicos	9,59E-12	1,05282E-15	1,95414E-16

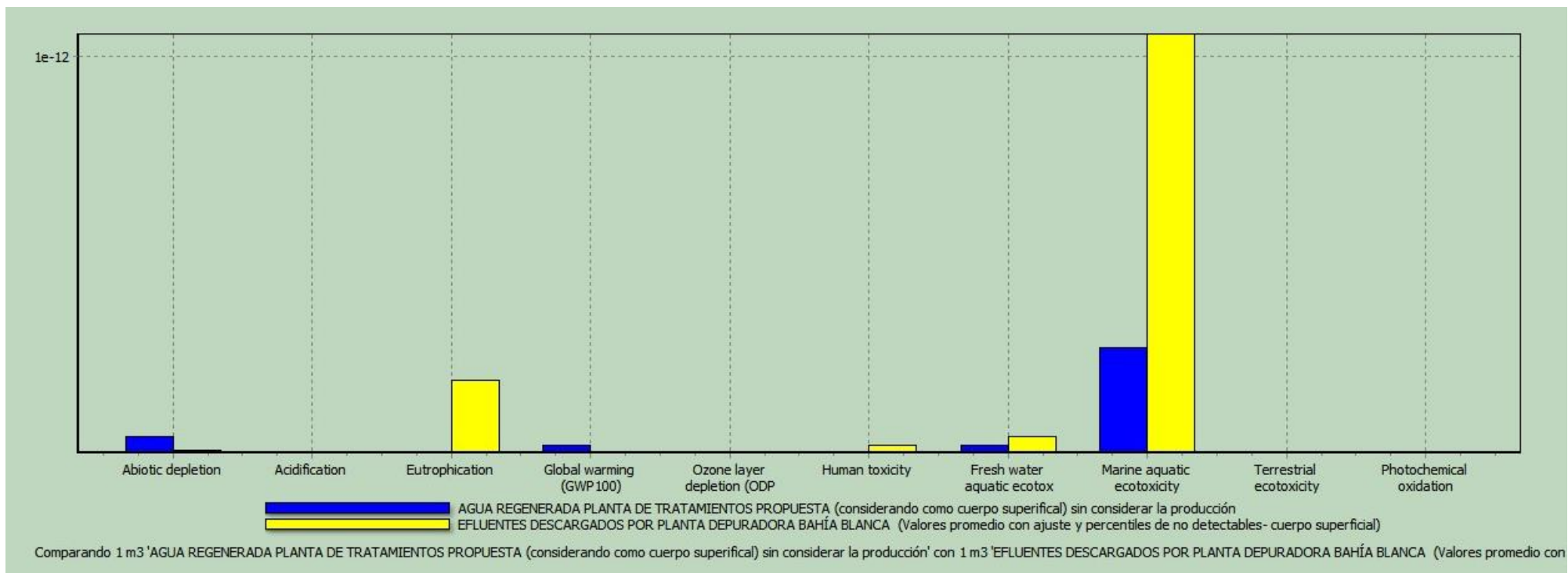


Figura 38 – Normalización de la comparación de ambos procesos

La figura muestra la normalización de la comparación del impacto del proceso de 1 m³ de efluentes para la obtención de agua regenerada respecto del proceso de la descarga directa, sin considerar los “productos evitados”. En este caso, cada columna muestra la comparación de ambos procesos para cada una de las diez categorías de impacto. La normalización permite determinar hasta qué grado cada categoría de impacto contribuye en forma significativa al problema ambiental global.

Tabla 28 – Resumen de la caracterización de la comparación de ambos procesos (Considerando los productos evitados)

Tabla que muestra la caracterización de la comparación del impacto del proceso de 1 m³ de efluentes para la obtención de agua regenerada respecto del proceso de la descarga directa, considerando los “productos evitados”. En este caso, al igual que en las anteriores tablas de caracterización, la primer columna refieren a las diez categorías de impacto consideradas por el método CML 2001 – Baseline, le sigue las unidades de cada uno de los indicadores y a continuación los valores para cada uno de los procesos, indicando en unidades equivalentes, la contribución de cada una de estos en la categoría de impacto correspondiente.

Los valores negativos hacen referencia a la mejora en la categoría de impacto considerada como consecuencia de los productos evitados.

SimaPro 8.0.4	Análisis de impacto	Fecha:	14/12/2014
Proyecto	AGUAS RESIDUALES FINAL	Período:	18:56
Cálculo:	Comparar		
Resultado:	Evaluación del impacto		
Producto 1:	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial) (del proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL) (CONSIDERANDO PRODUCTOS EVITADOS)		
Producto 2:	1 m3 EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables- cuerpo superficial) (del proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL) (CONSIDERANDO PRODUCTOS EVITADOS)		
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Indicador:	Caracterización		
Omitir categorías:	Nunca		
Excluir procesos de infraestructura:	Sí		
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí		
Ordenado por:	Categoría de impacto		
Orden de clasificación	Ascendente		
Categoría de impacto	Unidad	PRODUCTO 1	PRODUCTO 2
Agotamiento de los recursos abióticos	kg Sb eq	0,004495534	0,001196765
Acidificación	kg SO2 eq	-0,003151999	0,000255458
Eutrofización	kg PO4 eq	-0,000681506	0,024380561
Calentamiento Global (GWP100)	kg CO2 eq	-0,330616217	0,151845598
Disminución de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,16091E-07	2,58001E-08
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	0,146307524	1,019053868
Ecotoxicidad del agua superficial	kg 1,4-DB eq	0,035130248	0,084962722
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	131,2739756	542,300948
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,000695298	0,000919916
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	-6,06498E-05	1,87898E-05

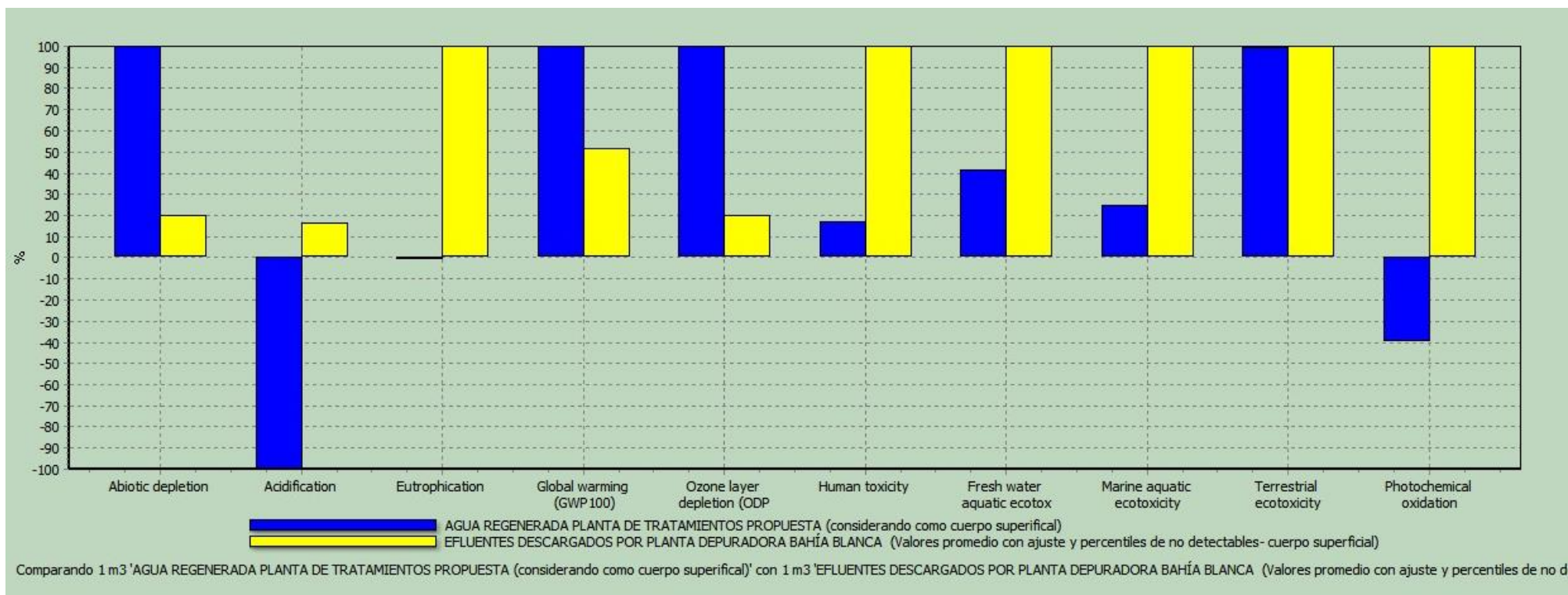


Figura 39 – Caracterización de la comparación de ambos procesos (Considerando productos evitados)

La figura representa la comparación del impacto del proceso de 1 m³ de efluentes para la obtención de agua regenerada respecto del proceso de la descarga directa, mediante la caracterización, considerando los “productos evitados”. Cada columna muestra la comparación de ambos procesos para cada una de las diez categorías de impacto. Nótese como la regeneración de aguas residuales genera un impacto al medio ambiente mucho menor que la descarga directa del efluente. Inclusive conlleva mejoras en los aspectos ambientales (valores por debajo de cero). Tal es el caso de la acidificación, la eutrofización y la oxidación fotoquímica, puesto que la regeneración trae aparejada la sustitución de la explotación del agua cruda o la fabricación fertilizantes artificiales por los productos del tratamiento.

No obstante ello, la regeneración implica la utilización de combustibles fósiles, con el consiguiente impacto en el agotamiento de recursos, en el calentamiento global y en la capa de ozono.

Tabla 29 – Resumen de la normalización de la comparación de ambos procesos (Considerando los productos evitados)

Tabla que muestra la normalización de la comparación del impacto del proceso de 1 m³ de efluentes para la obtención de agua regenerada respecto del proceso de la descarga directa, considerando los “productos evitados”. En este caso, al igual que en las anteriores tablas de normalización, la primera columna refieren a las diez categorías de impacto consideradas por el método CML 2001 – Baseline, le sigue las unidades de cada uno de los indicadores y a continuación los valores para cada uno de los procesos, indicando en unidades equivalentes, hasta qué grado cada categoría de impacto contribuye en forma significativa al problema ambiental global.

Los valores negativos hacen referencia a la mejora en la categoría de impacto considerada como consecuencia de los productos evitados.

SimaPro 8.0.4	Análisis de impacto	Fecha:	14/12/2014
Proyecto	AGUAS RESIDUALES FINAL	Período:	19:25
Cálculo:	Comparar		
Resultado:	Evaluación del impacto		
Producto 1:	1 m³ AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial) (del proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL) (CONSIDERANDO PRODUCTOS EVITADOS)		
Producto 2:	1 m³ EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables- cuerpo superficial) (del proyecto AGUAS RESIDUALES FINAL) (CONSIDERANDO PRODUCTOS EVITADOS)		
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Indicador:	Normalización		
Omitir categorías:	Nunca		
Excluir procesos de infraestructura:	Sí		
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí		
Ordenado por:	Categoría de impacto		
Orden de clasificación	Ascendente		
Categoría de impacto	Normalización World (1990 and 1995)	PRODUCTO 1	PRODUCTO 2
Agotamiento de los recursos abióticos	6,32E-12	2,87265E-14	7,64733E-15
Acidificación	3,09E-12	-9,80272E-15	7,94473E-16
Eutrofización	7,53E-12	-5,15218E-15	1,84317E-13
Calentamiento Global (GWP₁₀₀)	2,27E-14	-7,96785E-15	3,65948E-15
Disminución de la capa de ozono (ODP)	8,76E-10	2,25216E-16	5,00523E-17
Toxicidad humana	1,67E-14	2,56038E-15	1,78334E-14
Ecotoxicidad del agua superficial	4,83E-13	1,72138E-14	4,16317E-14
Ecotoxicidad marina	1,32E-15	2,55984E-13	1,05749E-12
Ecotoxicidad terrestre	3,79E-12	2,58651E-15	3,42209E-15
Formación de oxidantes fotoquímicos	9,59E-12	-6,30758E-16	1,95414E-16

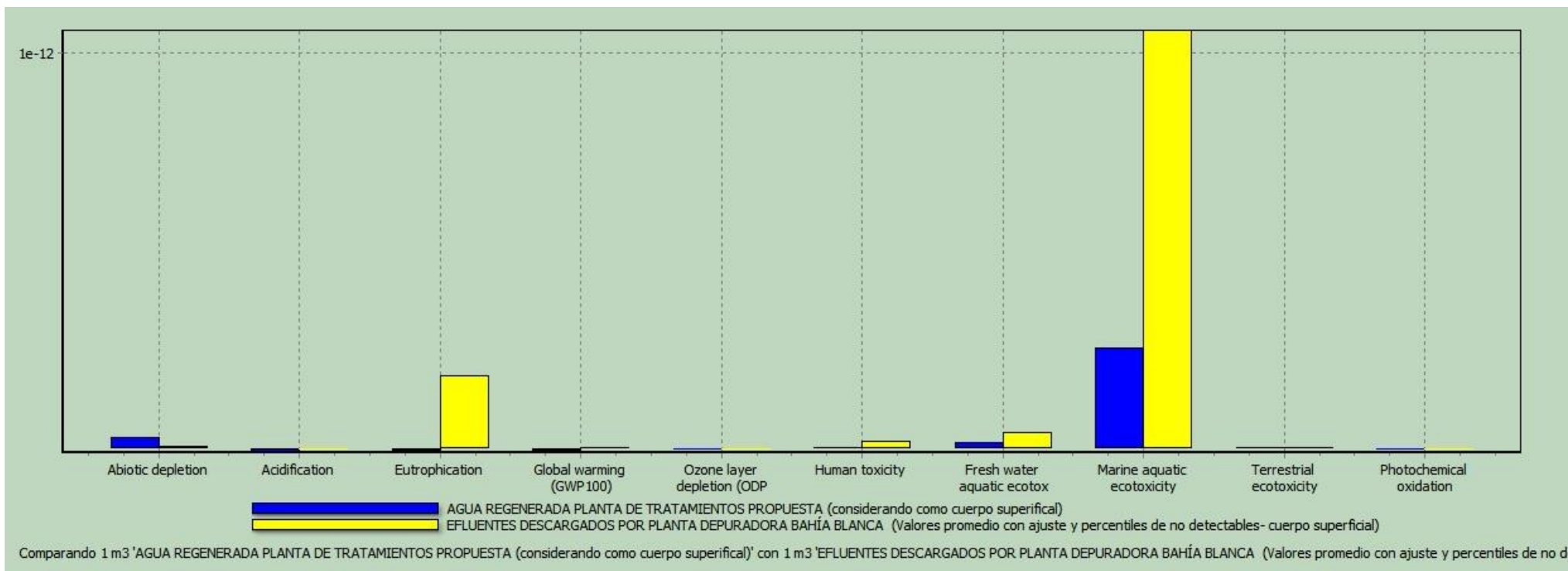


Figura 40 – Normalización de la comparación de ambos procesos (Considerando productos evitados)

La figura muestra la normalización de la comparación del impacto del proceso de 1 m³ de efluentes para la obtención de agua regenerada respecto del proceso de la descarga directa, considerando los “productos evitados”. En este caso, cada columna muestra la comparación de ambos procesos para cada una de las diez categorías de impacto.

Puede apreciarse que la regeneración de aguas residuales implica un impacto sobre el estuario por debajo de la cuarta parte de lo que implica su descarga directa. En las mismas proporciones se encuentran la eutrofización, y las toxicidades terrestre y humana

Capítulo 6

Conclusiones y recomendaciones

Antes de correr el modelo para calcular el ACV, y poder determinar los efectos ambientales del volcado directo de los efluentes cloacales, y luego de implementar un tratamiento para su regeneración, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones y limitaciones:

- Una de las principales limitaciones del trabajo, implícita en todo desarrollo matemático, fue la incertidumbre respecto del modelo, motivada por las simplificaciones que implican reducir la realidad a una serie de parámetros medibles y cuantificables. En ese sentido, el utilizar todos los parámetros establecidos por la legislación vigente para vuelco a cuerpo receptor, como base del impacto ambiental generado, da representatividad a los datos requeridos para el estudio. En cuanto a los eventos a futuro, el tratamiento del efluente, una vez instalada la planta propuesta, no se verá modificado con el tiempo hasta tanto se reemplace el tratamiento por otro ambientalmente más eficiente que pueda surgir en un futuro. Respecto de la unidad funcional, la seleccionada (1 m³ de agua regenerada medida a la salida de la planta) cumple con los requisitos para una comparación adecuada.
- El acceso a la información respecto a los datos de operación de la Planta Depuradora Bahía Blanca fue uno de los mayores obstáculos en la investigación. Si esta información estuviera disponible, desde distintos ámbitos se podrían hacer aportes que colaboren para minimizar los impactos sobre el estuario. No obstante ello, los datos no aportados por la empresa prestataria fueron obtenidos por otros medios o calculados, como el caso del consumo eléctrico.
- El programa de cálculo SimaPro 8 no contempla la posibilidad de volcado a estuarios, que es lo que ocurre en Bahía Blanca, sino a compartimientos ambientales definidos, como son ríos u océanos. En ese sentido, y habiendo corrido el programa para ambos casos,

las diferencias en los resultados no fueron significativas. Dicha comparación se adjuntó como Anexo a la presente investigación.

- No se consideraron en el inventario los residuos generados como parte del pretratamiento, por no contarse con datos fehacientes sobre su composición y cantidad.
- Si bien la etapa más controversial del ACV de un proceso es la interpretación, puesto que para ello es necesario ponderar las categorías de impacto, habiendo “normalizado” los resultados pudo determinarse en qué forma contribuyó cada una de las categorías de impacto a la problemática ambiental global.
- Las conclusiones producto de los ACV efectuados tienen sustento pues se efectuaron las comprobaciones de integridad, sensibilidad y coherencia, determinando que los datos son lo suficientemente completos como para arribar a una conclusión relevante (integridad). La incertidumbre en los datos y asignación son evaluadas y determinadas matemáticamente por el mismo programa de cálculo, razón por la cual la sensibilidad se consideró comprobada de antemano. Por último, los datos ingresados al programa resultaron coherentes con el objetivo y alcance del estudio.

Pese a las consideraciones y limitaciones planteadas, se pudo comprobar la hipótesis.

En efecto, a partir de dicha hipótesis, mediante la cual se pretendió demostrar que *“la posibilidad de tratamiento y reutilización de las aguas residuales, sería un paliativo para dos problemas de particular interés en Bahía Blanca. Por un lado disminuir la presión de consumo sobre el Dique Paso de las Piedras y por el otro reducir el volcado constante y creciente de contaminantes orgánicos, metales y de microorganismos potencialmente patógenos, que pueden poner en crisis el*

funcionamiento de tramas tróficas estuariales”, surgen las siguientes conclusiones²:

- A partir de los cálculos teóricos, puede apreciarse que la regeneración de aguas residuales implica una reducción respecto de la descarga directa al estuario del:
 - setenta y cinco por ciento de la toxicidad del ambiente marino.
 - cincuenta y cinco por ciento en la ecotoxicidad de las aguas superficiales.
 - un ochenta por ciento de la toxicidad humana, mientras que la toxicidad terrestre prácticamente no tiene variaciones.
 - un noventa y ocho por ciento de la eutrofización.
- Por su parte, la acidificación, como la producción de oxidantes fotoquímicos, adoptan valores negativos, como consecuencia de la reducción de los productos evitados, reduciéndose en un ciento cuarenta por ciento para la primera, y un ciento treinta para la segunda.
- La regeneración de aguas residuales implica un mayor consumo de energía para el proceso, con un indicador de agotamiento de recursos que supera cinco veces lo utilizado para la descarga directa. La mayor parte de la utilización de recursos se debe a la generación eléctrica y en menor medida, al uso de sales de metales para la floculación y coagulación.
- La regeneración de los efluentes respecto del vuelco de los efluentes sin tratar incrementa en un cincuenta por ciento el calentamiento global, y en un ochenta por ciento los efectos de reducción de la capa de ozono.

² Para el caso de vuelco del efluente a curso de agua superficial.

- La capacidad de regeneración de efluentes cloacales de una planta de las características propuestas, rondaría los 30000 m³ por día, lo que alcanzaría a cubrir la demanda de agua que las empresas instaladas en el polo petroquímico requieren para su funcionamiento. De ésta manera liberaría al Dique Paso de las Piedras del porcentaje de agua cruda que se destina con tal finalidad, la que estaría disponible para la población, una vez tratada en la Planta Potabilizadora Patagonia.

Como surge del análisis anterior, se ha cumplido el objetivo general, por cuanto se han demostrado ampliamente los beneficios que implica la reutilización de los efluentes cloacales regenerados.

En cuanto a los objetivos particulares, a lo largo del trabajo han sido desarrollados, cuantificando por área los beneficios de la reutilización y también los alcances del impacto de la no aplicación de dicho proceso.

Respecto al objetivo que plantea al presente trabajo como una herramienta de apoyo a la gestión de los recursos hídricos, surgen las siguientes consideraciones y recomendaciones:

- Debe tenerse en cuenta que los rendimientos teóricos calculados no incluyen los errores en la operación de la planta ni las fallas que pudieran presentarse. Asimismo deben considerarse los parámetros límites para el ingreso a cada fase del proceso, los que traen aparejado un mejor rendimiento o, por el contrario, la no continuidad del proceso. Tal es el caso de la necesidad de regulación del pH al ingreso al reactor biológico, por citar alguno de ellos.
- Los procesos de membrana, ultrafiltración y en especial el de ósmosis inversa implican un consumo de energía eléctrica muy superior al resto del tratamiento. No obstante ello, al tratarse de

procesos modulares, puede regularse la capacidad de producción en función de las necesidades de las empresas a las cuales está destinada el agua regenerada. Eso optimizaría el proceso de regeneración, ya que disminuiría el gasto de recursos para su obtención (generación eléctrica) y mejoraría la producción, al tener un menor rechazo. El exceso de producción podría destinarse, en función de la calidad obtenida, al riego.

- En cuanto a la reutilización para riego, hay al menos dos aspectos que deberían tenerse en cuenta. La implementación de tratamientos de membrana (UF y OI) implica altos costos de producción, y a su vez, la eliminación de nutrientes necesarios para los cultivos. Por otro lado, se debe asegurar la eliminación de formas de resistencia de los microorganismos, principalmente si el riego es por aspersión.

Por lo expresado, se concluye que la implementación de un proceso de regeneración de aguas residuales implicaría una considerable disminución de la contaminación en el estuario de Bahía Blanca y una disminución en la presión de consumo en el Dique Paso Piedras, aunque en algunos casos podría implicar un traslado de los impactos a otros compartimientos ambientales, con un mayor agotamiento de recursos, por ejemplo, para la generación de energía eléctrica.

Es por ello que, y a modo de balance general, puede afirmarse que la implementación de un proceso de regeneración sería sumamente benéfico para el medio ambiente en general y el estuario de Bahía Blanca en particular, superando notablemente los impactos negativos que su emplazamiento y operatoria producirían en estos.

Bibliografía

Libros, Documentos y Revistas:

Al-Jasser, A. O. (2011). "Saudi wastewater reuse standards for agricultural irrigation: Riyadh treatment plants effluent compliance". *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, no. 23, pp. 1-8. ISBN 1018-3639

Anton Vallejo, M. A. (2004). "Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo". Doctorado en Ingeniería Ambiental. Universidad de Cataluña.

Cabezali, C., Baldini, M., Cubitto, M. (2004). "Estudios microbiológicos. Bacterias indicadoras de contaminación". *Revista argentina de microbiología*, vol. 42, no. 4. Buenos Aires, pp. 109-120. ISBN 0325-7541

Cifuentes, O., Escudero, D., Medus, S. (2014). *Estudio de la dinámica (espacial y temporal) de los efluentes líquidos industriales y urbanos en la zona del Polo Petroquímico y Área Portuaria de Bahía Blanca. Convenio Municipalidad de Bahía Blanca – UTN-FRBB*. Bahía Blanca, Argentina

Escalas Cañellas, A. (2006). "Modelación matemática de procesos biológicos de tratamiento". *Tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas y su impacto en los sistemas acuáticos*. Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., Meijer, E. (2013). *Introduction to LCA with SimaPro*. PRé Consultants. Amersfoort, Países Bajos.

Goedkoop, M., Spriensma, R. (2001). *The Eco-Indicador 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Methodology Report*. Tercera Edición. PRé Consultants. Amersfoort, Países Bajos.

Guinee, J., Gorre, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., Van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Hangwon, S., Udo de Haes, E. (2001a). *Life cycle assessment. An operational guide to ISO standards. Part A*. Centre of Environmental Science - Leiden University (CML). Leiden, Países Bajos.

Guinee, J., Gorre, M.; Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R.; de Koning, A., Van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Hangwon, S., Udo de Haes, E., (2001b). *Life cycle assessment. An operational guide to ISO standards. Part 2b*. Centre of Environmental Science - Leiden University (CML). Leiden, Países Bajos.

Guinee, J., Gorre, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., Van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Hangwon, S., Udo de Haes, E. (2002). *Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards*. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht, Países Bajos

Halpern, B., Selkoe, K., Micheli, F., Kappel, C. (2007). "Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats". *Conservation Biology*, no. 21, pp. 1301-1315.

Halpern, B., Walbridge, S., Selkoe, K., Kappel, C., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J., Casey, K., Ebert, C., Fox, H., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H., Madin, E., Perry, M., Selig, E., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R., (2008). "A global map of human impact on marine ecosystem". *Science*, no. 319, pp. 948-952.

Huijbregts, M., Thissen, U., Guinée, J., Jager, T., Kalf, D., van de Meent, D., Ragas, A., Wegener Sleeswijk, A., Reijnders, L. (2000). "Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. Part I: Calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA". *Chemosphere*, no. 41, pp. 541-573.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), (2007). *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth*

Assessment Report of the IPCC. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. ISBN 978-0-521-88009-1

International Organization for Standardization (ISO) (2006a). *International Standard ISO 14040 - Environmental management - Life Cycle Assessment. Principles and framework*, International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza.

International Organization for Standardization (ISO) (2006b). *International Standard ISO 14044 - Environmental management - Life Cycle Assessment. Requirements and guidelines*. International Organization for Standardization, Ginebra, Suiza.

Jamwala, P. y Mittal, A., (2010). "Reuse of treated sewage in Delhi city: Microbial evaluation of STPs and reuse options". *Resources, Conservation and Recycling*, no. 54, pp. 211-221.

Marín Ocampo, A., Osés Pérez, M. (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento Aguas Residuales con el Proceso de Barros Activados. Tomo I y Tomo II*. Comisión Estatal del Agua de Jalisco, Jalisco, México.

Meneses, M., Pasqualino, J., Castells, F. (2010). "Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives". *Chemosphere*, no. 81, pp. 266-272.

Metcalf y Eddy (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. Cuarta edición. McGraw-Hill Companies, New York, USA.

Monserrat, V., Uribe Echevarría, M. (2013). *Proyecto: "Evaluación de reúso de los efluentes cloacales de la cuenca hídrica de Bahía Blanca, con destino agrícola y/o Industrial"*, UTN-FRBB. Bahía Blanca, Argentina

Municipalidad de Bahía Blanca (2010). *Plan de Desarrollo Local Bahía Blanca. Estudio 1.EE.289 - INFORME FINAL*, Bahía Blanca, Argentina.

Municipalidad de Bahía Blanca – Comité Técnico Ejecutivo, (2010). *Programa Integral de Monitoreo. Polo Petroquímico y Área Portuaria del Distrito de Bahía Blanca. Undécima Auditoría*, Bahía Blanca, Argentina

Ley Provincial N° 11.820. (1996). *Marco Regulatorio para la Prestación de los Servicios Públicos de Provisión de Agua Potable y Desagües Cloacales en la Provincia de Buenos Aires*. Publicación B.O., La Plata, Argentina.

PRé Consultants, (2010). *SimaPro Database Manual - Methods library*. Versión PDF - 2.5. PRé Consultants, Ginebra, Suiza.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), (2000). *Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono*, Secretaría del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, Nairobi, Kenia. ISBN 92-807-1888-6

Resolución N° 336 (2003) Directorio de la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires. La Plata, Argentina.

Sartor, A., Cifuentes, O. (2012). *Propuesta de Ley Nacional para Reúso de Aguas Residuales*, edUTecNe, Bahía Blanca, Argentina

Vega Rodriguez, J. A. (2010). *Análisis de ciclo de vida de sistemas de tratamiento de aguas residuales: influencia de los materiales utilizados*, Ingeniería de Materiales. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, España.

Weirtz, J., Dijk, V., Latour, J. (2001). Vegetatie-molule; de kans op voorkomen van 700 plantensoorten als functie van vocht, Ph, nutriënten en zout. En: *The Eco-Indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment*.

Methodology Report. Tercera Edición. Prè Consultants, Amersfoort, Países Bajos.

DOCUMENTOS EN LÍNEA Y PAGINAS WEB CONSULTADAS

Aguas Bonaerenses S.A. (ABSA), (2010). *Aguas Bonaerenses S.A.* [En línea] Disponible en: [http://www .aguasbonaerenses.com.ar](http://www.aguasbonaerenses.com.ar) [Último acceso: 3 de abril de 2013].

Augas de Galicia, (2012). *Xunta de Galicia. Concellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructura.* [En línea] Disponible en: <http://augasdegalicia.xunta.es/es/FuncionamientoEDAR.html> [Último acceso: 21 de octubre de 2012].

Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA), (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas.* [En línea] Alianza por el Agua. Disponible en: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>. [Último acceso: 14 de mayo de 2013].

Del Villar García, A. (2010). *Guía - Tratamientos avanzados de aguas residuales urbanas.* [En línea] Grupo E1 Economía Ambiental de la Universidad de Alcalá. Ed. Consolider Tragua. ISBN: 978-84-695-4041-1. Disponible en: http://www.consolider-tragua.com/documentos/guia_tratamientos_avanzados.pdf

Doka, G. (2007). "Life cycle inventories of waste treatment service". *Reporte Ecoinvent N° 13.* [En línea] Centro Sueco para el Inventario del Ciclo de Vida. Disponible en: http://www.ecoinvent.org/files/200905_weidema_hischier_codeofpractice_v2.1.pdf. [Último acceso: 1 de octubre de 2014].

International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), (2004). *International Institute for Applied Systems Analysis.* [En línea] Disponible en:

<http://webarchive.iiasa.ac.at/rains/review/review-approach.pdf> [Último acceso: 15 de octubre de 2012].

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC), (2010). *CENSO 2010*. [En línea] Disponible en: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/index.asp> [Último acceso: 22 abril de 2014].

Secretaría de Energía - Subsecretaría de Energía Eléctrica - Dirección Nacional de Prospectiva, (2012). *Informe del Sector Eléctrico*. [En línea] Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3783> [Último acceso: 11 agosto de 2013].

Saehan Industries, Inc. (2006). *Technical Manual- Reverse Osmosis Manual* [En línea]. Saehan Industries, Inc., Seúl, Corea del Sur. Disponible en: http://www.csmfilter.com/searchfile/file/tech_manual.pdf [Último acceso: 3 de diciembre 2014].

Tools for Environmental Analysis and Management (TEAM), (1999). *Tools for Environmental Analysis and Management*. [En línea] Ecobilan Group. Disponible en: <http://ecobilan.pwc.fr/en/boite-a-outils/team.jhtml> [Último acceso: 18 de marzo de 2014].

Tiw Western Inc., (2014). *Tiw Western Inc.* [En línea] Disponible en: <http://www.tiwwestern.com/tiw-once-through-steam-generators> [Último acceso: 3 de noviembre de 2014].

Totagua, (2014). *Totagua - Depuración y Reutilización de Aguas Residuales*. [En línea] Disponible en: <http://www.totagua.com/reutilizacion/ecociclembr.html>. [Último acceso: 17 de agosto de 2014].

United States Environmental Protection Agency (US EPA), (2012). *Guidelines for Water Reuse*. Agency for International Development. [En línea] Disponible

en: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>. [Último acceso: 23 de julio de 2014].

Villarreal, C., Zambrano, D., Galvis, A. y Silva, J., (2007). *Análisis del ciclo de vida en sistemas de tratamiento de aguas residuales*. [En línea] Conferencia Latinoamericana de Saneamiento- LATINOSAN 2007, Cali, Colombia. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358047/Unidad_II/ACV_Aguas_residuales.pdf: [Último acceso: 12 marzo 2012].

World Health Organization (WHO), (2006a). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volumen 1 - Policy and regulatory aspects*. [En línea] Tercera edición. World Health Organization. Ginebra, Suiza. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824_eng.pdf?ua=1 [Último acceso: 2 mayo 2014].

World Health Organization (WHO), (2006b). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volumen II - Wastewater use in agricultura*. [En línea] Tercera edición. World Health Organization. Ginebra, Suiza. Disponible en: http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546832_eng.pdf?ua=1 [Último acceso: 2 mayo 2014].

World Meteorological Organization (WMO), (2010). *Twenty Questions and answers about the ozone Layer: 2010 update*. [En línea] World Meteorological Organization. Disponible en: http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2010/SAP-2010-FAQs-update.pdf [Último acceso: 27 septiembre 2010].

Xilem (2013). *Manual de bombas de drenaje*. [En línea] Disponible en: http://www.xylemwatersolutions.com/scs/argentina/es-ar/Documentos/Documentos/Manual%20de%20Drenaje_50%20Hz.pdf [Último acceso: 2 mayo 2014].

Anexos

Anexo 1 – Comparación del ACV de la Planta Depuradora Bahía Blanca considerando la descarga al mar respecto de su descarga a un cuerpo superficial

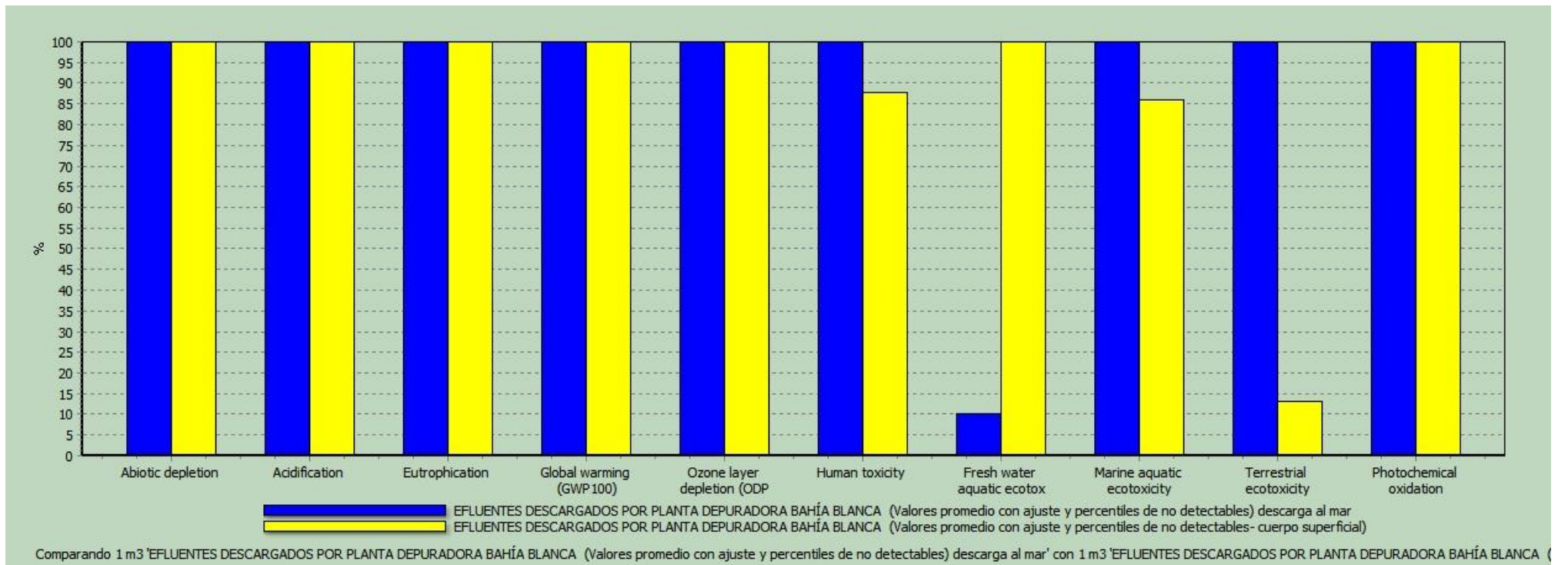
Anexo 2 – Comparación del ACV de la Planta Propuesta considerando la descarga al mar respecto de su descarga a un cuerpo superficial

Anexo 1

Análisis comparativo del ACV de la Planta Depuradora Bahía Blanca considerando la descarga al mar respecto de su descarga a un cuerpo superficial

Caracterización

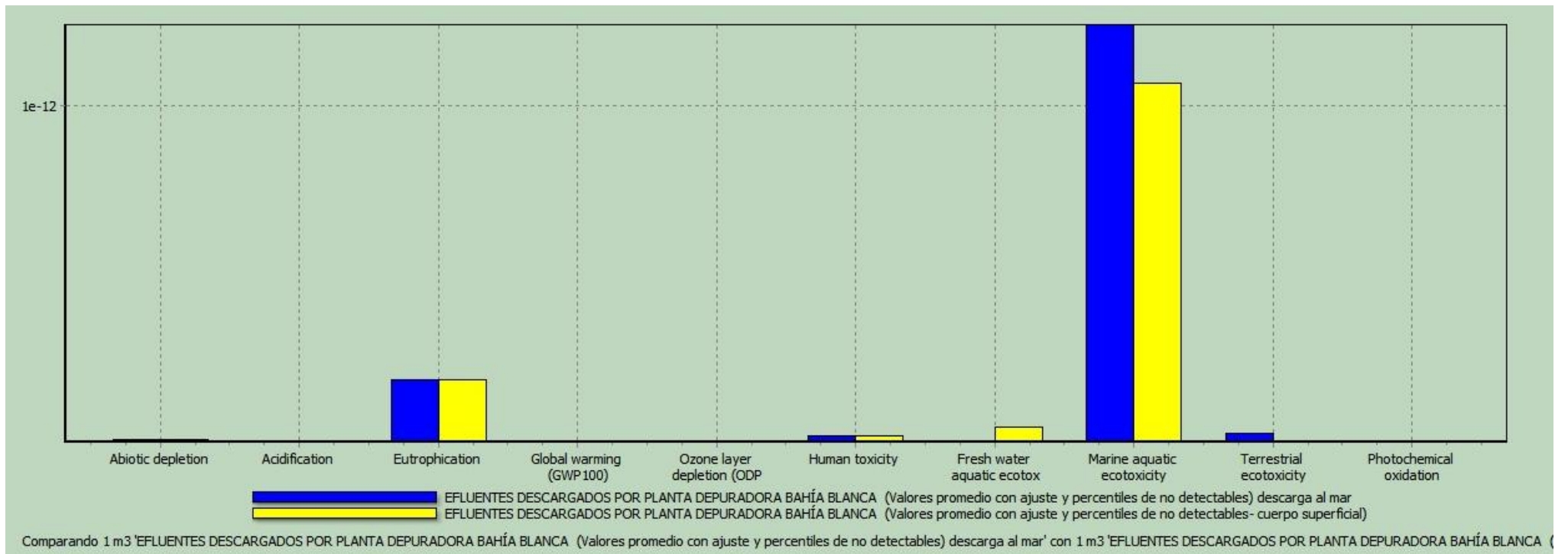
SimaPro 8.0.4	Análisis de impacto	Fecha:	14/12/2014
Proyecto	AGUAS RESIDUALES FINAL	Período:	22:35
Cálculo:	Comparar		
Resultado:	Evaluación del impacto		
Producto 1:	EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables) descarga al mar		
Producto 2:	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial) (of project AGUAS RESIDUALES FINAL) EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables- cuerpo superficial)		
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Indicador:	Caracterización		
Omitir categorías:	Nunca		
Excluir procesos de infraestructura:	Sí		
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí		
Ordenado por:	Categoría de impacto		
Orden de clasificación	Ascendente		
Categoría de impacto	Unidad	EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables) descarga al mar	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial)
Agotamiento de los recursos abióticos	kg Sb eq	0,001196765	0,001196765
Acidificación	kg SO2 eq	0,000255458	0,000255458
Eutrofización	kg PO4--- eq	0,024388079	0,024388079
Calentamiento Global (GWP100)	kg CO2 eq	0,151845598	0,151845598
Disminución de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,58001E-08	2,58001E-08
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1,162809652	1,021842562
Ecotoxicidad del agua superficial	kg 1,4-DB eq	0,008924382	0,087231461
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	636,3864995	546,6140491
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,007033312	0,000927212
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	1,87898E-05	1,87898E-05



Comparación de la caracterización del ACV de la Planta Depuradora Bahía Blanca, considerando su descarga como sub-compartimiento ambiental "OCÉANO" respecto a la misma considerando como sub-compartimiento ambiental "RÍO".

Normalización

SimaPro 8.0.4	Análisis de impacto	Fecha:	14/12/2014
Proyecto	AGUAS RESIDUALES FINAL	Período:	22:45
Cálculo:	Comparar		
Resultado:	Evaluación del impacto		
Producto 1:	EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables) descarga al mar		
Producto 2:	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial) (of project AGUAS RESIDUALES FINAL) EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables- cuerpo superficial)		
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Indicador:	Normalización		
Omitir categorías:	Nunca		
Excluir procesos de infraestructura:	Sí		
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí		
Ordenado por:	Categoría de impacto		
Orden de clasificación	Ascendente		
Categoría de impacto	Unidad	EFLUENTES DESCARGADOS POR PLANTA DEPURADORA BAHÍA BLANCA (Valores promedio con ajuste y percentiles de no detectables) descarga al mar	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial)
Agotamiento de los recursos abióticos	kg Sb eq	0,001196765	0,001196765
Acidificación	kg SO2 eq	0,000255458	0,000255458
Eutrofización	kg PO4--- eq	0,024388079	0,024388079
Calentamiento Global (GWP100)	kg CO2 eq	0,151845598	0,151845598
Disminución de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	2,58001E-08	2,58001E-08
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	1,162809652	1,021842562
Ecotoxicidad del agua superficial	kg 1,4-DB eq	0,008924382	0,087231461
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	636,3864995	546,6140491
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,007033312	0,000927212
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	1,87898E-05	1,87898E-05



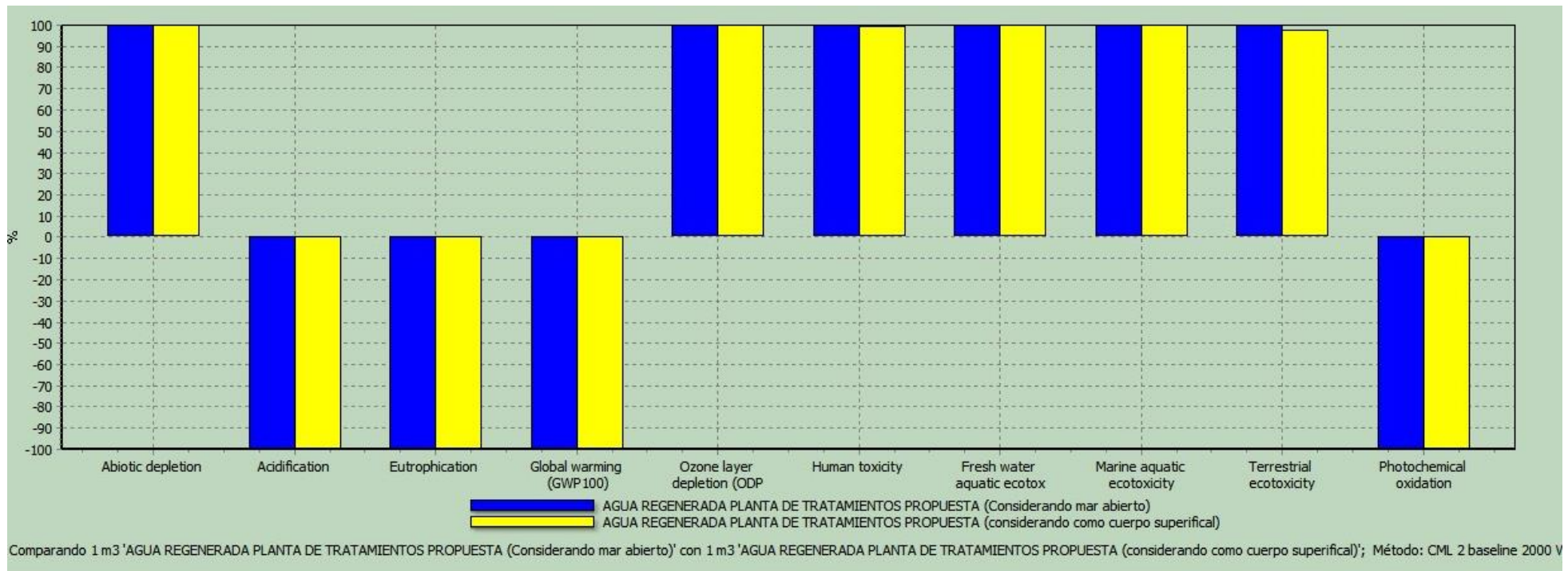
Comparación de la normalización del ACV de la Planta Depuradora Bahía Blanca, considerando su descarga como sub-compartimiento ambiental "OCÉANO" respecto a la misma considerando como sub-compartimiento ambiental "RÍO".

Anexo 2

Comparación del ACV de la Planta Propuesta considerando la descarga al mar respecto de su descarga a un cuerpo superficial

Caracterización

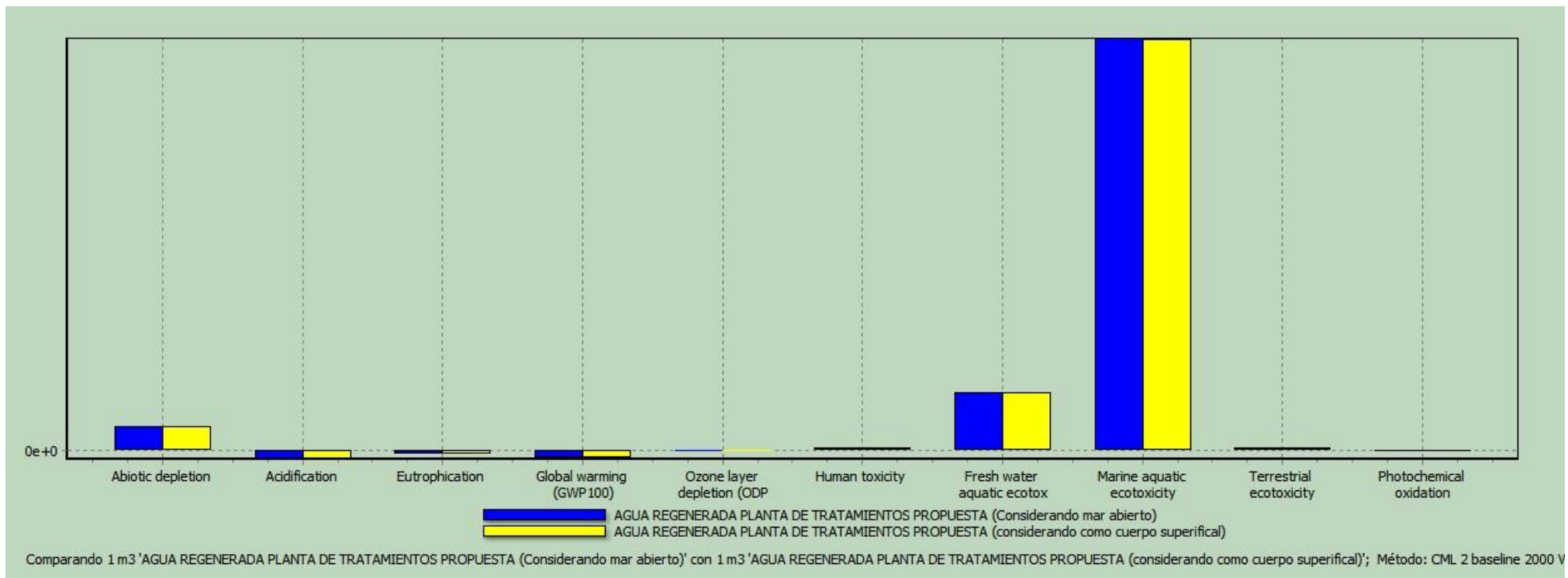
SimaPro 8.0.4	Análisis de impacto	Fecha:	14/12/2014
Proyecto	AGUAS RESIDUALES FINAL	Período:	19:22
Cálculo:	Comparar		
Resultado:	Evaluación del impacto		
Producto 1:	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (Considerando mar abierto) (of project AGUAS RESIDUALES FINAL)		
Producto 2:	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial) (of project AGUAS RESIDUALES FINAL)		
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Indicador:	Caracterización		
Omitir categorías:	Nunca		
Excluir procesos de infraestructura:	Sí		
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí		
Ordenado por:	Categoría de impacto		
Orden de clasificación	Ascendente		
Categoría de impacto	Unidad	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (Considerando mar abierto)	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial)
Agotamiento de los recursos abióticos	kg Sb eq	0,004495534	0,004495534
Acidificación	kg SO2 eq	-0,003151999	-0,003151999
Eutrofización	kg PO4--- eq	-0,000681506	-0,000681506
Calentamiento Global (GWP100)	kg CO2 eq	-0,330616217	-0,330616217
Disminución de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	1,16091E-07	1,16091E-07
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	0,146904963	0,146307524
Ecotoxicidad del agua superficial	kg 1,4-DB eq	0,03479408	0,035130248
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	131,6598792	131,2739756
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0,000710933	0,000695298
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	-6,06498E-05	-6,06498E-05



Comparación de la caracterización del ACV de la Planta Depuradora Propuesta, considerando su descarga como sub-compartimiento ambiental "OCÉANO" respecto a la misma considerando como sub-compartimiento ambiental "RÍO".

Normalización

SimaPro 8.0.4	Análisis de impacto	Fecha:	14/12/2014
Proyecto	AGUAS RESIDUALES FINAL	Período:	19:22
Cálculo:	Comparar		
Resultado:	Evaluación del impacto		
Producto 1:	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (Considerando mar abierto) (of project AGUAS RESIDUALES FINAL)		
Producto 2:	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial) (of project AGUAS RESIDUALES FINAL)		
Método:	CML 2 baseline 2000 V2.05 / World, 1995		
Indicador:	Normalización		
Omitir categorías:	Nunca		
Excluir procesos de infraestructura:	Sí		
Excluir emisiones a largo plazo:	Sí		
Ordenado por:	Categoría de impacto		
Orden de clasificación	Ascendente		
Categoría de impacto	Unidad	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (Considerando mar abierto)	1 m3 AGUA REGENERADA PLANTA DE TRATAMIENTOS PROPUESTA (considerando como cuerpo superficial)
Agotamiento de los recursos abióticos	kg Sb eq	7,64733E-15	7,64733E-15
Acidificación	kg SO2 eq	7,94473E-16	7,94473E-16
Eutrofización	kg PO4--- eq	1,84374E-13	1,84374E-13
Calentamiento Global (GWP100)	kg CO2 eq	3,65948E-15	3,65948E-15
Disminución de la capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	5,00523E-17	5,00523E-17
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	2,03492E-14	1,78822E-14
Ecotoxicidad del agua superficial	kg 1,4-DB eq	4,37295E-15	4,27434E-14
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	1,24095E-12	1,0659E-12
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	2,61639E-14	3,44923E-15
Formación de oxidantes fotoquímicos	kg C2H4 eq	1,95414E-16	1,95414E-16



Comparación de la normalización del ACV de la Planta Depuradora Propuesta, considerando su descarga como sub-compartimiento ambiental "OCÉANO" respecto a la misma considerando como sub-compartimiento ambiental "RÍO".

Índice alfabético

A

<i>Acidificación</i>	68
<i>Acondicionamiento</i>	98
<i>Agotamiento de los recursos abióticos</i>	61
<i>Agotamiento del ozono estratosférico</i>	66
<i>Análisis del Ciclo de Vida</i>	40
<i>Análisis del Ciclo de Vida con Sima-Pro</i>	77
<i>Análisis del ciclo de vida de la planta de tratamientos propuesta</i>	162
<i>Análisis del Ciclo de Vida de la Planta Depuradora Bahía Blanca</i>	144
<i>Análisis del Impacto</i>	49
<i>Análisis del Inventario</i>	48
<i>Aplicaciones de las aguas residuales reutilizables</i>	107
<i>Asignación de los resultados del ICV. Clasificación</i>	55

B

<i>Bibliografía</i>	183
---------------------------	-----

C

<i>Cambio climático</i>	63
<i>Caracterización</i>	55
<i>Categorías de Impacto</i>	60
<i>Comparación del impacto ambiental de ambas plantas utilizando la técnica de ACV</i>	170
<i>Conclusiones y recomendaciones</i>	175
<i>Criterios para el uso y manejo del agua regenerada. Determinación de la calidad requerida en función de la categoría</i>	109

D

<i>Definición de Objetivo y Alcances. La unidad funcional</i>	45
<i>Definición del objetivo y alcance del ACV – Unidad Funcional.....</i>	124
<i>Descripción de la planta.....</i>	142
<i>Descripción de la planta propuesta y su análisis del ciclo de vida.....</i>	154
<i>Descripción del area de estudio</i>	139
<i>Deshidratación</i>	98
<i>Diferentes calidades de los efluentes.....</i>	82

E

<i>El tratamiento de las aguas residuales.....</i>	81
<i>Espesamiento.....</i>	97
<i>Estabilización</i>	97
<i>Eutroficación</i>	69
<i>Evaluación del impacto</i>	144
<i>Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida: Métodos de Evaluación. CML2001 - Baseline</i>	57

F

<i>Formación de oxidantes foto-químicos.....</i>	70
--	-----------

G

<i>Generalidades.....</i>	41
<i>Glosario</i>	23

I

<i>Índice</i>	3
<i>Interpretación de los resultados</i>	56
<i>Introducción.....</i>	33

<i>Inventario del Ciclo de Vida</i>	128
---	-----

L

<i>Limitaciones de un ACV. Origen de la incertidumbre</i>	74
<i>Límites del sistema</i>	125
<i>Línea de aguas</i>	155
<i>Línea de fangos</i>	161
<i>Lista de figuras / gráficos</i>	19
<i>Lista de tablas</i>	17

M

<i>Marco regulatorio en la Provincia de Buenos Aires</i>	101
<i>Metodología del ACV</i>	43

N

<i>Necesidad del tratamiento</i>	81
--	----

P

<i>Pretratamiento</i>	84
-----------------------------	----

R

<i>Reconocimientos</i>	11
<i>Regeneración, Reciclado y Reúso de las aguas residuales</i>	106
<i>Rendimiento de los tratamientos en la línea de agua</i>	95
<i>Resumen</i>	9
<i>Reúso destinado al riego</i>	111
<i>Reúso industrial del agua regenerada</i>	116

S

<i>Selección de las categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos</i> .	52
---	----

T

<i>Tabla de contenido</i>	13
<i>Toxicidad</i>	72
<i>Tratamiento de las aguas residuales</i>	80
<i>Tratamiento de los fangos</i>	96
<i>Tratamiento Primario</i>	86
<i>Tratamiento Secundario</i>	87
<i>Tratamiento Terciario</i>	90