

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
CENTRAL TERMOELÉCTRICA A CARBÓN  
RIO TURBIO, SANTA CRUZ

**INFORME FINAL**

**CAPITULO 7: IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS.  
1) MODELOS Y ESTUDIOS ESPECIALES  
PUNTO 4: ANÁLISIS ECOTOXICOLÓGICO**

**INDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA	2
<b>2. EVALUACIÓN DE RIESGO ECOTOXICOLÓGICO</b>	<b>4</b>
2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	4
2.1.1 Factores de estrés ambiental	4
2.1.2 Ecosistemas potencialmente en Riesgo	10
2.1.3 Selección de puntos finales	15
2.1.4 Modelo conceptual	15
<b>2.2 ANÁLISIS</b>	<b>19</b>
2.2.1 Caracterización de la exposición	19
2.2.2 Caracterización de los efectos	22
<b>2.3 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO</b>	<b>25</b>
2.3.1 Caracterización del riesgo sobre el ecosistema acuático.	25
2.3.2 Caracterización de los riesgos sobre el ecosistema terrestre.	26
<b>3. CONSIDERACIONES FINALES</b>	<b>26</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente apartado corresponde a la Evaluación de Riesgo Ecotoxicológico llevada a cabo en el marco del Estudio de Impacto Ambiental de la Central Termoeléctrica a Carbón que será construida en el Municipio de Río Turbio. El mismo tiene como objetivo identificar y entender el posible efecto causado sobre los ecosistemas por los diversos contaminantes con potencial de ser liberados al ambiente.

### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EMPLEADA**

La metodología utilizada para el desarrollo de la presente evaluación de Riesgo Ecotoxicológico, ha sido desarrollada de acuerdo a la metodología establecida por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US.EPA, 1998) en la Guía para Evaluaciones de Riesgo Ecotoxicológico.

La evaluación de riesgo ecotoxicológico es definido como un proceso sistemático, fundado en evidencia científica, que tiene por objeto evaluar la probabilidad que efectos ecológicos adversos puedan ocurrir, o estén ocurriendo, como consecuencia de la exposición a factores de estrés ambiental. En líneas generales el proceso consta de tres fases (Figura 1), una etapa de Formulación de Problema, seguida de una fase de Análisis y finalmente una etapa de Caracterización del Riesgo.

Previo al comienzo de la Evaluación de Riesgo existe una instancia de Planificación, en la cual los evaluadores de riesgo, las autoridades y las partes interesadas establecen las Metas de Manejo para los Valores Ecológicos, las Opciones de Manejo factibles, Orientación y Alcance de la Evaluación, y los Recursos disponibles, que son plasmados en un Resumen de Planificación.

Durante la etapa de Formulación del Problema, se realiza la identificación de los posibles factores de estrés ecológico y se definen los Puntos Finales de Evaluación, seleccionados en base a su relevancia ecológica, susceptibilidad y relevancia respecto a las metas de manejo. Además durante esta instancia se desarrolla el Modelo Conceptual, que establecerá las principales hipótesis de riesgo, las resumirá en un diagrama de flujos y evaluará las incertidumbres. Como producto de esta etapa se obtiene un plan de análisis que establece el diseño de evaluación, la información requerida y las mediciones y métodos a utilizar.

En la fase de Análisis se selecciona la información a utilizar respecto a las características del ecosistema y los datos de exposición y de efectos ecológicos. A partir de ellos se realiza por un lado el análisis de exposición, donde se evalúan las fuentes de estrés, la distribución y extensión espacial y temporal de los factores de estrés y se analiza la ocurrencia de los mismos. Por otro lado el análisis de efectos define las relaciones factor de estrés-respuesta, las evidencias de causalidad entre ellos y la relación entre datos de efecto y puntos finales de evaluación. Como producto de esta fase se obtienen los perfiles de efecto y de evaluación.

Finalmente, durante la etapa de Caracterización del Riesgo se describe y estima el riesgo, mediante la integración de los perfiles de exposición y efecto, y la evaluación de las incertidumbres. Para ello pueden utilizarse diferentes metodologías que varían según los datos disponibles. El resultado final es la cualificación del riesgo y la comunicación de las conclusiones finales.

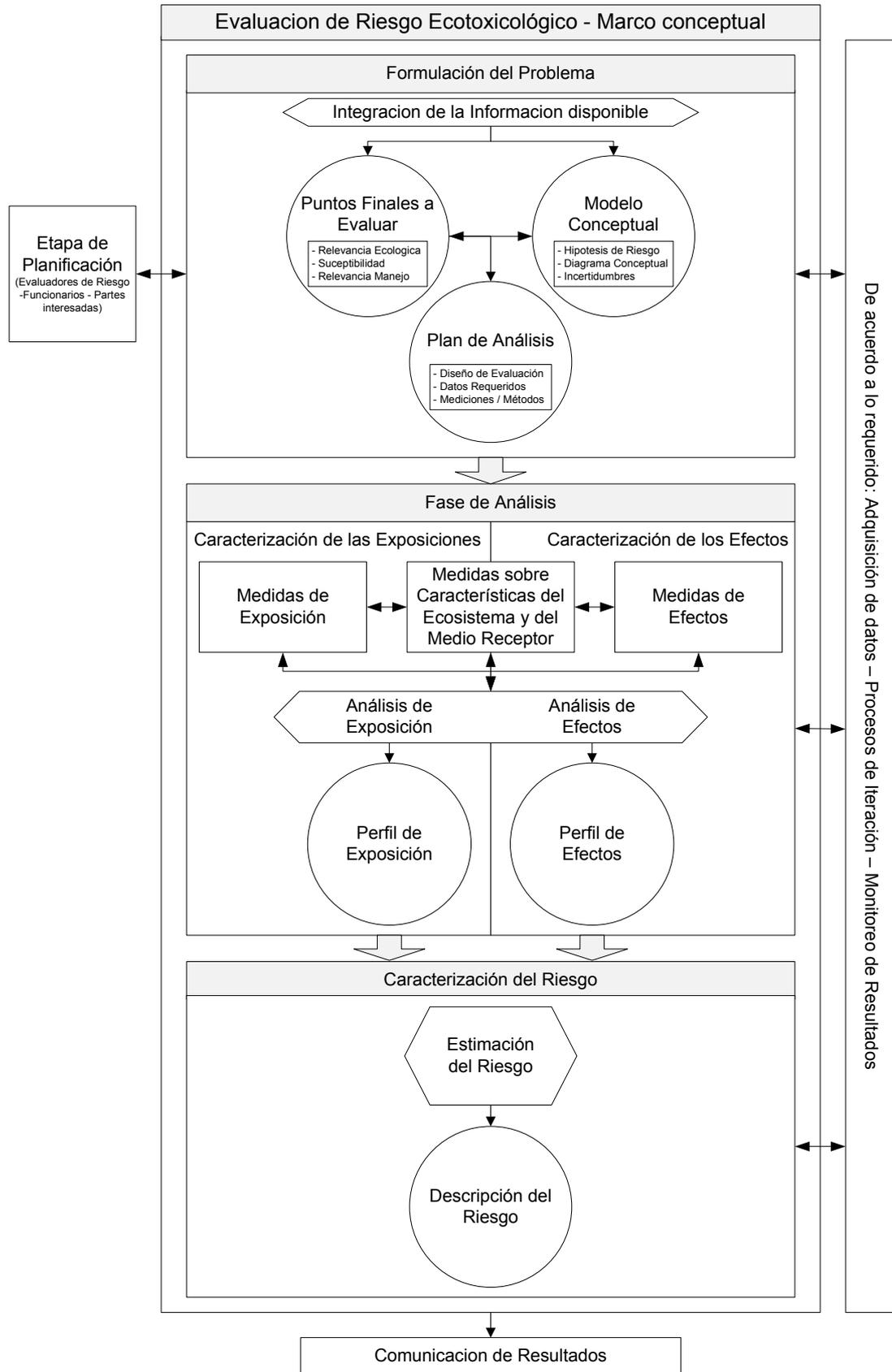


Figura 1. Marco conceptual para la Evacuación de Riesgo Ecotoxicológico (modificado de USEPA, 1998)

## 2. EVALUACIÓN DE RIESGO ECOTOXICOLÓGICO

### 2.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 2.1.1 Factores de estrés ambiental

El funcionamiento de la Central, como toda actividad antrópica, implica la utilización de insumos, su transformación y la generación de desechos. La tecnología que utilizará la planta puede considerarse eco compatible, en el sentido que usará gran parte de aquellos elementos de diseño que hoy se encuentran disponibles en el mercado para optimizar el uso de los recursos minimizando la generación de emisiones gaseosas contaminantes, especialmente.

Pese a ello, los volúmenes de materia y energía involucrados en la operación de la planta poseen una magnitud tal que podrían representar potenciales factores de estrés para los ecosistemas asociados, requiriendo un detallado análisis de los potenciales riesgos ecotoxicológicos. El detalle de la descripción técnica del proyecto se muestra en el Capítulo 4. Aquí sólo se retomaran aquellos aspectos relevantes para la evaluación ecotoxicológica.

La Central térmica generará un total de 240 MW (dos módulos de 120 MW, al 100% de su capacidad), mediante la combustión de carbón en lecho fluidizado. El carbón provendrá de la Bocamina 5 del yacimiento Río Turbio. El carbón obtenido de la mina y acondicionado según sus dimensiones, será acopiado en la planta en parques de carbón, para luego ser quemado en las calderas. Como aditivos de la combustión se utilizan cal y amoníaco en base acuosa, de forma tal de controlar desde su generación, la emisión de gases ( $SO_2$  y  $NO_x$ ). En la caldera se produce el vapor que impulsa a las turbinas que, por medio de un generador, proporcionarán la energía eléctrica que será conducida a la red de interconexión.

##### 2.1.1.1 Insumos

A continuación se enumeran los principales insumos y la cantidad de los mismos que utilizará la planta durante la fase de funcionamiento al 100% de su capacidad instalada.

Carbón	155,00 Tn/h
Aire	903,00 Tn/h
Agua	37,5 Tn/h
Cal	14,76 Tn/h
Amoníaco	0,334 Tn/h
Arena	Sólo durante la puesta en marcha

##### Carbón

El carbón es el combustible principal de la planta. Como se mencionó previamente, el carbón provendrá de la Bocamina 5 del yacimiento Río Turbio. Como se mencionó en el Capítulo 4, el carbón a ser utilizado en el proceso reunirá las siguientes características:

Humedad	11,30	%
Contenido volátil	23,30	%
Cenizas	39	%
Densidad	0,85	%
Carbono	73,4	%
Oxígeno	18,17	%
Hidrogeno	6,33	%
Nitrógeno	0,9	%
Azufre	1,2	%
Cloro	<0,1	%

El resultado de los análisis químicos de elementos traza en el carbón de Río Turbio arrojaron los siguientes resultados (Laboratorio Grupo Induser S.R.L, Abril 2008):

Aluminio	12,20	mg/kg
Sodio	1,97	mg/kg
Hierro	1,65	mg/kg
Azufre total	1,34	% p/p
Calcio	1,30	mg/kg
Vanadio	< 100,00	mg/kg
Níquel	< 5,00	mg/kg
Mercurio	< 0,80	mg/kg
Radiactividad ( $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ )	<5, 38, <5	Bq/kg

### Aire

El aire que utiliza el proceso es aire ambiente, el cual será captado por dos grupos de ventiladores. Uno, sistema de aire primario, provee aire que se incorpora directamente a través de las boquillas en el lecho fluidizado y en el sistema de enfriamiento de las cenizas y el otro, sistema de aire secundario, proporciona el resto del aire requerido para la combustión, para la alimentación de combustible y cal, y para los calentadores de puesta en marcha.

### Agua

El proceso utiliza agua de reposición y abastecimiento general de planta que será extraída del arroyo San José o del río Turbio, dependiendo de los sitios de emplazamiento alternativos. Durante el invierno (menor caudal) el volumen captado de agua por la planta en los sitios alternativos 1 y 2 será mínimo respecto del caudal total del río y del arroyo.

### Cal

La piedra caliza (cal) es utilizada durante el proceso de combustión como medio de captura del azufre proveniente del carbón.

### Amoníaco en base acuosa

El amoníaco es utilizado en base a una solución acuosa del 19 % para cumplimentar adecuadamente con las previsiones de niveles de emisión, por chimenea, de NO<sub>x</sub>. El amoníaco es un álcali fuerte, irritante y corrosivo. Es considerado una sustancia peligrosa que será manejada y almacenada de acuerdo a las normas correspondientes (ver Capítulo 4).

### Arena

La arena se alimenta en el lecho fluidizado y se utiliza como medio de fluidificación, especialmente en la puesta en marcha del generador de vapor.

#### 2.1.1.2 Desechos

Los principales desechos generados durante el proceso son los siguientes:

Efluentes gaseosos	997,92	Tn/h
Residuos sólidos (cenizas y polvos)	75,00	Tn/h
Efluentes líquidos	18,50	Tn/h
Residuos sólidos generales (domiciliarios, inertes y peligrosos)	Variable según funcionamiento	

### Efluentes gaseosos

Los efluentes gaseosos están conformados por los gases que se forman como producto de la combustión del carbón en la caldera. Los gases se conducirán a la atmósfera por una chimenea de 110 m de altura con un caudal de 346,5 m<sup>3</sup>/s y una temperatura de gases de 155°C. Como se describe detalladamente en el Capítulo 4 la tecnología utilizada por la planta cuenta con sistemas de reducción de SO<sub>2</sub> mediante la adición de cal al carbón durante la combustión, reducción de NO<sub>x</sub> mediante la utilización de amoníaco en base acuosa, y reducción de material particulado (PM) mediante la utilización de filtros de manga. De acuerdo a la descripción del proyecto, las emisiones gaseosas de la planta cumplirán con los siguientes niveles de emisión:

SO <sub>2</sub>	200 mg/ Nm <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub>	200 mg/ Nm <sup>3</sup>
PM <sub>10</sub>	30 mg/ Nm <sup>3</sup>

La estimación de las masas de los gases que serán liberados a la atmósfera han arrojado los siguientes valores:

CO <sub>2</sub>	207,3 Tn/ h
CO	0,3 Tn/ h
SO <sub>2</sub>	0,2 Tn/ h
NO <sub>x</sub>	0,2 Tn/ h
O <sub>2</sub>	34,6 Tn/ h
N <sub>2</sub>	685,2 Tn/ h
H <sub>2</sub> O	71,4 Tn/ h

Los volúmenes máxicos de CO, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, como gases de emisión mayoritarios, que serán liberados a la atmósfera, se han modelado en el Capítulo 7 en el Ítem dedicado al Modelo de Calidad Aire.

### Residuos sólidos (cenizas y polvos)

Durante el proceso de combustión del carbón se produce una gran cantidad de cenizas (40% del carbón utilizado más el consumo total de cal). El 40% de estas cenizas quedan depositadas en el fondo del horno, otra fracción de partículas quedan retenidas en el separador de sólidos (5%), y los polvos restantes, las cenizas volantes (55%), en los filtros manga. Estas cenizas son transportadas mediante cintas transportadoras estancas y acopiadas transitoriamente en la planta en un recinto cerrado y controlado, para prevenir la voladura de las mismas. Luego las cenizas deben gestionarse para su disposición final, tema que queda fuera del alcance de este estudio. Sin embargo en el apartado de Medidas Ambientales se recomiendan acciones de gestión para su manejo sustentable.

La composición elemental informada para las cenizas es la siguiente:

Si (silicio)	27,1	%
Al (aluminio)	13,8	%
Fe (hierro)	3,1	%
Ca (calcio)	2,2	%
K (potasio)	1,0	%
S (azufre)	1,5	%
Mg (magnesio)	0,8	%
Tl (talio)	0,8	%
Na (sodio)	0,5	%
P (fósforo)	0,0	%
Cl (cloro)	0,0	%
Mn (manganeso)	0,0	%
Zn (cinc)	0,0	%
Cu (cobre)	0,0	%
Pb (plomo)	0,0	%
Cr (cromo)	0,0	%
Sn (estaño)	0,0	%
Sb (antimonio)	0,0	%
Co (cobalto)	0,0	%
Ni (níquel)	0,0	%
V (vanadio)	0,0	%
Br (bromo)	0,0	%

Puede observarse que, como en el carbón, el metal más abundante en las cenizas es el aluminio. Otros metales de relevancia ambiental presentan concentraciones no detectables por la técnica analítica utilizada. Las cenizas y polvos representan un potencial factor de estrés debido a que estos residuos suelen presentar metales y otros elementos traza. La evaluación del riesgo asociado a su disposición final excede los alcances de este estudio. Aquí sólo se contemplará el posible efecto que pueda estar asociado a la voladura de este material por las pequeñas pérdidas de los sistemas estancos de conducción y de acopio, y durante los primeros kilómetros de transporte en los camiones desde la planta hacia el sitio de disposición final (en caso de ser este el sistema de transporte seleccionado).

### Efluentes líquidos

Los efluentes líquidos generados por la usina serán volcados, dependiendo de la alternativa de emplazamiento, al río Turbio o al arroyo San José luego de pasar por una planta de tratamiento donde convergerán, los drenajes de aguas de proceso, los drenajes provenientes de la planta de tratamiento de aguas de servicios sanitarios y los drenajes aceitosos y generales de planta. Además, existirá un sistema independiente de drenaje de los lixiviados del parque de carbón (en caso de que este se disponga a cielo abierto). En consecuencia, las cuatro corrientes diferenciadas de efluentes líquidos serán:

- Aguas servidas provenientes de los servicios sanitarios.
- Aguas residuales provenientes de drenajes aceitosos y servicios generales de planta.
- Agua de proceso que fuera perdida en el sistema o purgada del mismo.
- Drenajes del parque de carbón, en el caso que los mismos se dispusieran a cielo abierto. Para este último caso se considera que como resultado del modelo de dispersión atmosférica se ha recomendado su cobertura completa.

Las aguas servidas serán tratadas en un sistema del tipo modular apto para tratar en conjunto una población de 1.500 personas. Luego este drenaje será derivado a la planta de tratamiento de aguas general de la central.

Los drenajes aceitosos y de los servicios generales de la planta pasan por un separador de agua/aceite para luego dirigirse a la planta de tratamiento general.

Las purgas y pérdidas del agua de proceso, drenajes no aceitosos, se vehiculizan directamente hacia la planta de tratamiento general de la central.

Los efluentes líquidos cumplirán con los parámetros de vuelco establecidos en la normativa provincial (Disposición 4/1996 y Decreto 7/2006) que se muestran a continuación:

Parámetros de vuelco	Unidad de medida	Disposición 4/1996 Anexo II	Decreto 7/2006 Anexo A	Niveles de calidad de vuelco medidos en cámara de aforo (receptor: Río Turbio/ Arroyo San José)
pH		6 – 10	6 – 10	6 – 10
Temperatura	°C	50	50	50
Sólidos sedimentables en 2 horas	ml/ l	1	1	1
Sustancias solubles en frío en éter etílico SSEE (grasas y aceites)	mg/ l	100	100	100
Sulfuros	mg/ l	1	1	1
Cromo trivalente total	mg/ l	2		2
Cromo hexavalente total	mg/ l	0,2	0,2	0,2
Plomo total	mg/ l	0,5	0,5	0,5
Mercurio Total	mg/ l	0,005	0,005	0,005
Arsénico	mg/ l	0,5	0,5	0,5
Cianuros	mg/ l	0,1	0,1	0,1
Cadmio Total	mg/ l	0,1	0,1	0,1
Hidrocarburos	mg/ l	20	20	20
DBO <sub>5</sub> , 20° C (sobre muestra bruta)	mg/ l	50	50	50
DQO (sobre muestra bruta)	mg/ l	250	250	250
Fenoles	mg/ l	0,5	0,5	0,5
Detergentes	mg/ l	1	1	1
Cloro residual (después de 30 minutos de contacto)	mg/ l	6	6	6
Coliformes fecales	NMP/ 100 ml		2000	2000
Sustancias asimilables con azul de metileno (S.A.A.M)	mg/ l		2	2
Hierro (soluble)	mg/ l		2	2
Manganeso (soluble)	mg/ l		0,5	0,5
Cinc	mg/ l		2	2

Parámetros de vuelco	Unidad de medida	Disposición 4/1996 Anexo II	Decreto 7/2006 Anexo A	Niveles de calidad de vuelco medidos en cámara de aforo (receptor: Río Turbio/ Arroyo San José)
Níquel	mg/ l		2	2
Cromo Total	mg/ l		2,2	2,2
Cobre	mg/ l		1	1
Aluminio	mg/ l		2	2
Bario	mg/ l		2	2
Boro	mg/ l		2	2
Cobalto	mg/ l		2	2
Selenio	mg/ l		0,1	0,1
Nitrógeno Total	mg/ l		35	35
Nitrógeno amoniacal	mg/ l		25	25
Nitrógeno orgánico	mg/ l		10	10
Fósforo total	mg/ l		1	1

### Residuos sólidos (domiciliarios inertes, patogénicos y peligrosos)

Como residuos generales se consideran los siguientes:

- Residuos del tipo domiciliario, generados en la planta como resultado de la operación de comedores, obradores, etc.
- Residuos patogénicos, generados como resultado de la operación de salas de atención médica en planta y del policlínico de asistencia para personal asociado a la obra y a la operación de la Central.
- Residuos inertes, generados por acciones de mantenimiento, limpieza y acondicionamiento de distintos sectores de la planta (escombros, maderas, chatarra, etc.)
- Residuos peligrosos, generados como resultado de las operaciones de mantenimiento de equipos, vehículos, retiro de aceites e hidrocarburos de las corrientes de pérdida de agua en el sistema, etc.

El volumen de este tipo de residuos será variable de acuerdo a las operaciones que se mantengan en la planta. Asimismo, durante la operación, el volumen de residuos a ser generados dependerá de las tareas de mantenimiento y acondicionamiento que se realicen cada mes. Se entiende que estas corrientes de residuos serán mínimas en función de las principales descritas particularmente más arriba.

En base a los datos relativos al proyecto, los volúmenes involucrados y la composición de los insumos y los desechos asociados al proceso, y ante la imposibilidad de evaluar todos los posibles factores de estrés, se han identificado como principales factores a ser considerados en la presente evaluación de riesgo ecotoxicológico, a:

- Los residuos sólidos correspondientes a cenizas y polvos,
- Los efluentes gaseosos de la chimenea principal (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, MP),
- El material particulado en suspensión producto de la voladura de las pilas de carbón.
- Los efluentes líquidos, en particular el efecto térmico y niveles de SST (sólidos suspendidos totales).

### 2.1.2 Ecosistemas potencialmente en Riesgo

Según el proyecto, la Central Termoeléctrica a Carbón Río Turbio, está previsto que sea construida en las proximidades de la localidad de Río Turbio y Julia Dufour, ubicadas en el departamento de Güer Aike, provincia de Santa Cruz, Argentina. La zona de Río Turbio posee una elevación que va de los 200 a los 500 m.s.n.m, corresponde a una región de clima frío y húmedo, con temperaturas medias próximas a los 10,0 °C en verano y 1,5 °C en invierno, precipitaciones anuales en torno a los 500 mm, vientos predominantes del sector oeste con velocidades medias anuales de 3,1 m/s y humedades promedio entre 60% en verano y 80% en invierno.

Desde el punto de vista de las eco-regiones, y como se explica en la Línea de Base Ambiental, esta área se corresponde con una zona de ecotono entre el bosque patagónico y la estepa patagónica. Se pueden distinguir en la zona tres unidades de ecosistemas terrestres:

- i) Relieve general de mesetas, colinas, y valles, cubiertos por una matriz de estepa gramínea de dosel cerrado y altura entre 10 y 15 cm. Los matorrales de Ñire forman manchones aislados en la estepa, cubriendo en conjunto entre 25-50% de la superficie. Las especies dominantes son *Festuca sp.*, *Phalaris canariensis*, *Empetrum rubrum*, registrándose más de 15 taxas diferentes. Los parches son de dos tipos: arbustal (murtillar) con dos estratos a 5 y 15 cm; y estepa gramínea de dos estratos a 5 y 15 cm. Los matorrales de Ñire forman manchones aislados en la estepa, cubriendo en conjunto entre 25-50% de la superficie.

Durante los relevamientos se pudo observar la existencia de Bosques de Ñire (*Nothofagus antarctica*) al Noreste del área de estudio, destacándose un sector ubicado al este del río Turbio, en el tramo comprendido entre la Estancia La Primavera, y la confluencia del río con el arroyo San José. Los manchones de bosque se encuentran inmersos en una matriz de Estepa Mixta dominados por *Festuca gracillima* y *Chilotrimum diffusum*.

Según el estudio realizado por el Proyecto PASMA (2001), en esta unidad de paisaje se registran al menos dos especies de mamíferos y tres especies de aves, correspondiendo predominantemente a diversas familias del orden Falconiformes (águilas mora, *Geranoaetus melanoleucus*; carancho común, *Polyborus plancus* y cóndores, *Vultur gryphus*). Se hallan evidencias de roedores cricétidos, zorro y liebre europea. Hay ganadería bovina, además de ovina y el grado de uso es intenso, con un grado de erosión laminar bajo.

Efectivamente durante las tareas de campo fueron identificados en las zonas más cercanas al área de estudio cóndores y caranchos comunes, mientras que en zonas más alejadas se pudo observar, también, un ejemplar adulto y un juvenil de águila mora. En líneas generales, los caranchos fueron muy abundantes y estuvieron presentes en prácticamente todos los ambientes. En estas mismas zonas también fueron observados chimangos (*Milvago chimango*). También en los ambientes de estepas, pero en las zonas bajas se observó con mucha frecuencia y en gran abundancia la presencia de cauquenes comunes (*Chloephaga picta*). Otra ave muy frecuente en las zonas bajas de estepa fue el choique (*Pterocnemia pennata*). Sin embargo, los mismos fueron observados en zonas alejadas del área de estudio. En relación a los mamíferos se encontró un ejemplar muerto de zorro gris (*Pseudalopex griseus*). En esta zona también se pudieron ver liebres europeas (*Lepus europaeus*) y guanacos (*Lama guanicoe*). Estos últimos se encontraban con frecuencia en los mismos lugares habitados por los choiques.

- ii) Cerros y valles cubiertos de bosque cerrado. El patrón de distribución de los elementos del paisaje está controlado por la topografía y el uso. En las partes más altas predomina el bosque de Lengua de 20-25 m de altura; en las partes bajas y anegadas predomina el bosque de Ñire; las vegas están cubiertas de estepa gramínea y parches de bosque de Ñire y existen manchones dominados por gramíneas producidos por la quema. Los bosques de Lengua y las áreas quemadas ocupan la mayor parte de la superficie (25-50%; el resto ocupa 5 a 25%).

Durante los relevamientos de campo se observó la existencia de bosque de Lengua (*Nothofagus pumilio*) al Oeste, al Suroeste y al Sur de la localidad de Río Turbio, el cual presentó un sotobosque de escasa cobertura, destacándose la presencia de arbustos de la especie Mata Negra (*Chiliodendron diffusum*). Intercalado con los grandes manchones de bosque se observó la existencia de Estepas Herbáceas y Estepas Mixtas dominadas por *Festuca gracillima* (coirón), Murtilla (*Empetrum rubrum*), *Bolax gummifera* y Mata Negra (*Chiliodendron diffusum*).

En el Sector Norte del área de estudio (norte del arroyo San José) se observó la existencia de Bosque de Ñire (*Nothofagus antarctica*). El mismo se encuentra alternado con Estepas dominadas por *Festuca gracillima* similares a las descritas para la zona del bosque de Lengua. En el sector más cercano al área de estudio el bosque de Ñire ha desaparecido como resultado de un incendio ocurrido en el año 1982, en el cual se vieron afectadas 17.000 ha.

Finalmente, hacia el Oeste del río Turbio, en el tramo que el mismo toma dirección Sur entre las localidades de Julia Dufour y 28 de Noviembre, se pudo observar la existencia de un Bosque de Ñire el cual, a medida que avanza hacia el Oeste se va entremezclando con el Bosque de Lengua descrito previamente.

En esta unidad se hallaron evidencias de al menos una especie de mamífero y se observaron 6 especies de aves. Presenta aves exclusivas de los bosques andino patagónicos como ser el rayadito (*Apharstura spinicauda*), el picolezna (*Pygarrhychas albogularis*) y el zorzal patagónico (*Turdus falcklandii*). Se registran también comesebos andinos (*Phrygilus gayi*), caranchos comunes, tordos patagónicos (*Curaeus curaeus*), además de liebre europea. El deterioro del bosque en la zona es importante, razón por la cual otras especies típicas de bosques poco disturbados, como el carpintero magallánico es poco probable que se encuentre presente en este sitio. En esta unidad de paisaje, las actividades predominantes son la ganadería ovina y bovina, y la extracción de madera y caza, como actividades secundarias. El grado de uso es alto.

Durante los relevamientos fueron observados en las zonas de bosques y en sus inmediaciones caranchos comunes, tordos patagónicos, cachañas (*Enicognathus ferrugineus*) y carpinteros pitío (*Colapses pitius*). En cuanto a los mamíferos se observó solo una especie, la cual además es exótica, la liebre europea.

- iii) Relieve de mesetas, colinas y valles. La matriz de vegetación es de estepa gramínea con parches en un patrón dependiente de las geoformas. En los valles hay parches de mallines y de bosque de Ñire. Las laderas están cubiertas de matorral de Ñire; mientras que en cerros y mesetas la cobertura es de estepa gramínea. Estas unidades forman una franja angosta siguiendo los cursos de agua. La matriz de vegetación dominante es la estepa gramínea, la cual presenta una serie de parches siguiendo un patrón dependiente de las geoformas. En las partes más altas se encuentran bosques de *Nothofagus antarctica* en el pie de las laderas, los valles o colinas suaves alternando con bosques de *N. pumilio* en las laderas. En las zonas más bajas hay pastizal húmedo de *Festuca gracillima* con *Gamochoaeta nivalis* y parches dispersos de matorrales de *Chiliodendron diffusum* con *Festuca gracillima*. A lo largo de los cursos de agua hay mallín de *Caltha sagittata* y *Carex gayana*.

Dentro del área de estudio esta unidad se encuentra representada por las comunidades vegetales asociadas al arroyo San José y al Río Turbio. En este sentido, a lo largo del arroyo San José, se destaca la presencia de pinito de agua (*Hippuris vulgaris*). Los márgenes de estas zonas se encuentran dominadas por pastizales con alta cobertura. A lo largo del río Turbio, se pudo observar vegetación de tipo herbácea con unos pocos centímetros de altura. A partir del cruce del río con el puente de la Ruta Nacional N° 40, se puso de manifiesto la existencia de vegetación herbácea de mayor altura, destacándose la presencia de la especie exótica *Rumex longifolius*.

En esta unidad de paisaje se registran al menos cinco especies de mamíferos y cuatro especies de aves. La zona presenta una gran heterogeneidad espacial, por lo cual es importante destacar la relación entre la fisonomía de la vegetación y las especies animales. En la zona más húmeda, junto al río (ambientes anegados), se encuentran rastros de cauquén común y patos barcino (*Anas flavirostris*). En este sentido, durante los relevamientos de campo junto a los cursos de agua fueron observados ejemplares de cauquén común y de flamencos australes (*Phoenicopterus chilensis*). En este sentido, en el humedal ubicado al sur del arroyo San José, se observó un gran número de ejemplares de estas especies, haciendo uso del mismo.

En los parches de Ñire pueden encontrarse el zorzal patagónico, el chimango (*Milvago chimango*) y la liebre europea. En la estepa gramínea se observan cuevas de piche patagónico o peludo, huellas de zorro colorado y rastros de zorrino patagónico. Como actividad secundaria hay cultivos y el grado de uso es alto.

A partir de los resultados obtenidos de los muestreos realizados en ambas alternativas se pudo observar que la Alternativa 1 presenta una menor riqueza de especies que la Alternativa 2. En este sentido, la flora de la Alternativa 1 alcanzó una riqueza taxonómica de 4 familias, 8 géneros y 9 especies de plantas vasculares, mientras que en la Alternativa 2 alcanzó una riqueza de 10 familias, 14 géneros y 14 especies de plantas vasculares. Más aún, la mayoría de las especies presentes en el predio de la Alternativa 1 son consideradas exóticas para la región. Así, de las 9 especies identificadas, sólo dos son nativas de la zona. En cuanto a la Alternativa 2, 9 de las 14 especies identificadas son naturales de la zona.

Los pastos fueron las especies que presentaron mayor cobertura en la Alternativa 1, mientras que las especies con menor cobertura fueron el abrojo (*Acaena pinnatifida*), la margarita (*Tripleurospermum perforatum*) y la milenrama (*Achillea millefolium*), de las cuales sólo se detectaron individuos solitarios con baja cobertura. En el caso de la Alternativa 2, las especies con mayor cobertura fueron el coirón (*Festuca gracillima*) y nuevamente los pastos. Por otro lado, en esta zona las especies con menor cobertura fueron los líquenes, la lengua de vaca (*Rumex acetosella*) y el diente de león (*Taraxacum officinale*).

En cuanto al índice de Shannon – Wiener, el mismo indicó que la comunidad vegetal presente en la Alternativa 2 (1,83) es más diversa que en la 1 (0,38). El índice de Equitatividad mostró, por su parte, que esta Alternativa 2 (0,64) tiene una uniformidad mayor que la otra alternativa 1 (0,15) en cuanto a la cobertura de la especies, lo cual sumado a la mayor riqueza, determinan la mayor diversidad descripta anteriormente.

Los ecosistemas acuáticos corresponden a los de ríos de primer y segundo orden, conformados por el arroyo San José y el río Turbio (el cual previo a la confluencia con el arroyo San José es conocido localmente como arroyo Primavera). Además, existe un lago artificial producto del dique construido en el arroyo San José al oeste de ambos sitios. El arroyo San José y el río Turbio a la altura de los sitios alternativos 1 y 2 de localización de la planta, poseen caudales medios que oscilan entre los 3024 y 10116 m<sup>3</sup>/h, y 1440 y 4572 m<sup>3</sup>/h, en verano e invierno respectivamente. En relación a la temperatura de estos cursos de agua, existen escasos registros. La información disponible proviene de estudios realizados por la Secretaría de Minería de la Nación y los realizados para el presente estudio de Impacto Ambiental (Ver Capítulo 5). De acuerdo a esta información, las temperaturas mínimas y máximas estarían comprendidas entre los 0,1 y 12,6 °C.

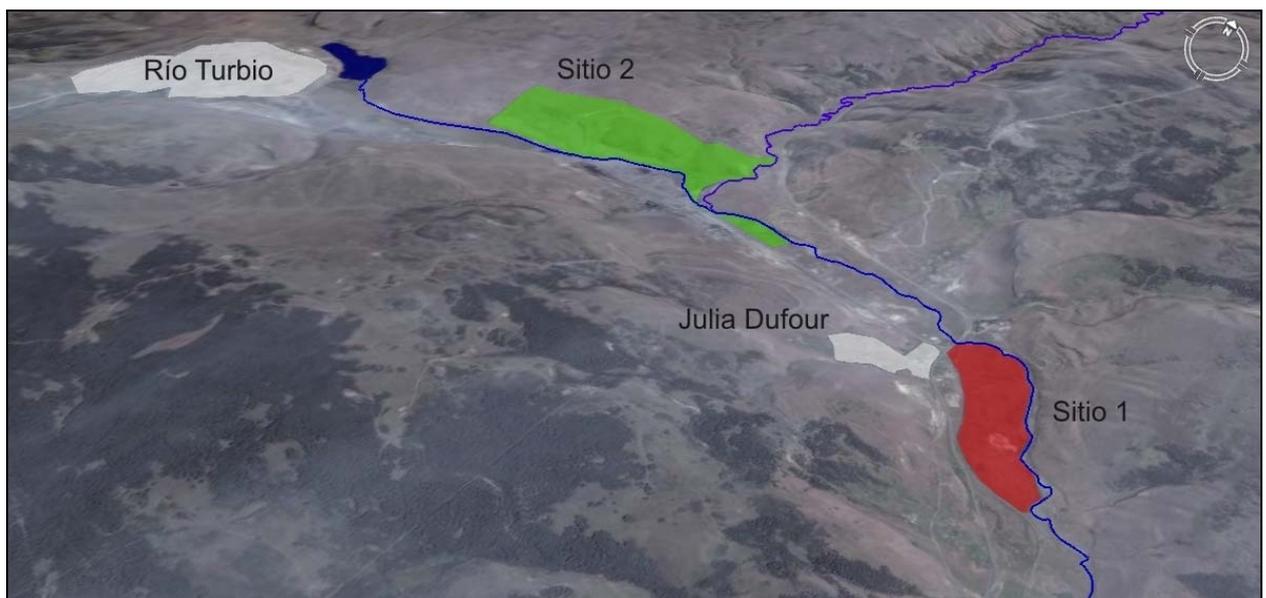
Durante el invierno el arroyo San José y el río Turbio previo a la confluencia suelen presentar una delgada capa de hielo en la superficie. Este fenómeno es menos frecuente en el Río Turbio luego de la confluencia con el arroyo San José. Dado que las máximas fueron registradas en el mes de abril, podrían esperarse mayores temperaturas en los meses estivales.

Estos cursos de agua poseen en los sectores prístinos aguas blandas, con una dureza de 50 mgCaCO<sub>3</sub>/L y alcalinidad de 45 mg/L, que pueden aumentar hasta los 100 mgCaCO<sub>3</sub>/L y 270 mg/l en las zonas disturbadas (PASMA, 2001). El pH es en general neutro pero puede variar desde levemente ácido 6,5 a alcalino 8,9 dependiendo del sector y de la época del año. Otra característica importante es que poseen concentraciones de carbono orgánico disuelto muy bajas (<0,01mg/L) (PASMA, 2001). Los sólidos totales suspendidos (SST) son también muy bajos en los cursos no alterados pero los valores pueden llegar a ser muy altos en los sectores con fuerte alteración antrópica.

En este sentido, la calidad del agua del arroyo San José y del río Turbio luego de recibir las aguas del mencionado arroyo presenta un alto grado de deterioro debido a los altos valores de sólidos suspendidos y niveles de concentración de algunos metales (Al, Cu, Mn, Pb, Zn) e incluso de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en sectores del arroyo San José, excediendo, para algunos de estos parámetros, los niveles guía de calidad de aguas superficiales para la protección de la vida acuática, establecidos en la normativa nacional (Decreto 831-93, Ley Nac. 24.051 Residuos Peligrosos). Además, el arroyo San José y río Turbio presentan niveles de As y Cr elevados, excediendo por ejemplo los niveles guía de calidad ambiental para sedimentos establecidos por Canadá para sistemas dulceacuícolas. Por el contrario el río Turbio previo a la confluencia con el arroyo San José presenta una calidad de agua prístina, comparable a la de otros arroyos no disturbados de la región.

En cuanto a la ictiofauna, la riqueza específica de estos arroyos se encuentra muy empobrecida, habiéndose hallado únicamente una sola especie, la trucha marrón (*Salmo trutta*), de las 26 descritas para la región patagónica entre especies autóctonas e introducidas. Dentro de los invertebrados acuáticos bentónicos, se han hallado insectos pertenecientes al Orden Ephemeroptera, Familias Leptophlebiidae, como por ejemplo el género *Meridialaris*, al Orden Plecoptera, Familia Gripopterygidae y del Orden Díptera se han encontrado diversas larvas pertenecientes a los infraórdenes Culicomorpha y Muscomorpha. Respecto al resto de los taxa merecen destacarse a los moluscos del género *Chilina*.

En lo que se refiere específicamente al emplazamiento de la Central, hasta el momento se han previsto dos sitios alternativos (Figura 2).



**Figura 2.** Perspectiva de imagen satelital con modelo de elevación de terreno, mostrando los sitios alternativos para la ubicación de la Central Termoeléctrica a Carbón Río Turbio.

El Sitio 1, está ubicado inmediatamente al sudeste de la localidad de Julia Dufour, próximo al basurero local. Esta ubicación se encontraría sobre la terraza aluvial superior del Río Turbio (260 m s.n.m), en una zona caracterizada por un estrato superior de arenas arcillosas con presencia de gravas de una potencia de 3 m, sobre un segundo estrato friable de gravas en matriz arenosa con presencia de finos con una potencia de aproximadamente 40 m, sobre otro estrato compacto representado por un suelo arcilloso limoso con presencia de arena, gravilla y pequeñas lajillas de suelo cementado, además de lajas de carbón de piedra (IC, 2005). Dada su ubicación en el valle aluvial, el sitio posee riesgo de inundación, erosión fluvial y remoción en masa.

En esta zona, gran parte del relleno aluvial tiene en sus primeros metros una severa modificación antropogénica ya que ha sido sometida a la extracción de áridos, remociones masivas y es, además, un sitio de recepción de residuos de todo tipo que provienen de las ciudades adyacentes.

Los estudios hidrogeológicos (INA, 2005) señalan que el nivel freático oscila entre los 2 y 6 metros de profundidad y que corresponde a un acuífero de tipo subálveo que se encuentra en el relleno aluvial del arroyo San José y río Turbio. Es de destacar que este es el único acuífero de la zona que representa una fuente de agua apta para el consumo humano.

El relleno aluvial se encuentra saturado debido al marcado ascenso capilar característico de los terrenos turbosos. El nivel estático del acuífero es mayor al pelo de agua del arroyo por lo que este último tiene carácter de afluente.

El Sitio 1 se encuentra ubicado en la eco región de mesetas, colinas y valles previamente descrito, aunque se encuentra próximo, por el este a la eco-región de relieve general de mesetas, colinas, y valles y por el oeste al de cerros y valles cubiertos de bosque cerrado.

Al Este, el predio limita con el río Turbio. En este tramo el río presenta un alto grado de deterioro de la calidad del agua, caracterizado por la presencia de altos valores de sólidos suspendidos y valores de concentración de algunos metales (Al, Cu, Mn, Pb, Zn), que exceden, en algunos casos, los niveles guía de calidad de aguas superficiales para la protección de la vida acuática, establecidos en la normativa nacional (Decreto 831-93, Ley Nac. 24051 Residuos Peligrosos). Además, los niveles de As y Cr en los sedimentos exceden los niveles guías de calidad establecidos por países como Canadá.

El Sitio 2, está emplazado sobre la cima de una meseta (360 a 400 m s.n.m) limitada al Sur y al Este por los cursos fluviales del arroyo San José y el río Turbio. Esta superficie sub-horizontal está controlada por los bancos duros que coronan a la Formación río Turbio que afloran de forma aislada debido a que esta formación se haya cubierta por una acumulación till alojado integrado de gravas, arenas, limos y arcillas cuya potencia se estima del orden de los 2 metros.

La zona no presenta alta probabilidad de riesgos geológicos destacables. Si bien no se han realizado estudios hidrogeológicos en la zona, dadas sus características geológicas no existirían acuíferos subterráneos.

Este Sitio se halla en un punto donde convergen las tres eco-regiones previamente descriptas, con un predominio de la mesetas, colinas y valles en las inmediaciones del predio. Al sur, el predio limita con el arroyo San José y al este con el río Turbio.

En este tramo, el arroyo San José presenta un importante grado de deterioro por los altos niveles de material en suspensión, las elevadas concentraciones de metales y los niveles  $\text{NH}_4^+$  que superen los niveles guía de calidad de aguas superficiales para la protección de la vida acuática, establecidos en la normativa nacional (Decreto 831-93, Ley Nac. 24051 Residuos Peligrosos).

Contrariamente, el río Turbio aguas arriba de la confluencia con el arroyo San José conserva niveles de calidad de agua promedio para los cursos de agua de la región que no han sido alterados por actividades antrópicas.

### 2.1.3 Selección de puntos finales

Sobre la base de los factores de estrés identificados, y los elementos más conspicuos de los ecosistemas afectados se han seleccionado los siguientes puntos finales:

Efectos de la temperatura sobre la trucha marrón	Tasa de eclosión, crecimiento, supervivencia y desove.
Efectos del aluminio sobre la trucha marrón	Supervivencia (LC <sub>50</sub> -LT <sub>50</sub> ) a exposiciones agudas y crónicas.
Efectos del pH sobre la trucha marrón	Supervivencia (LC <sub>50</sub> -LT <sub>50</sub> ) a exposiciones agudas y crónicas.
Efectos sinérgicos del aluminio y el pH sobre la trucha marrón	Supervivencia (LC <sub>50</sub> -LT <sub>50</sub> ) a exposiciones agudas y crónicas.
Efectos del SO <sub>2</sub> sobre la vegetación	Acumulación de azufre y reducción del crecimiento en biomasa.
Efectos del SO <sub>2</sub> sobre el ganado y mamíferos.	Tasa de mortalidad y morbilidad (extrapolación a partir de datos de salud humana)
Efecto del material particulado sobre el ganado y mamíferos.	Tasa de mortalidad y morbilidad (extrapolación a partir de datos de salud humana)

### 2.1.4 Modelo conceptual

En las Figura 3 y Figura 4 se muestran los diagramas correspondientes a los modelos conceptuales mostrando los potenciales efectos sobre el ecosistema acuático y terrestre obtenido a partir del proceso de identificación de factores de estrés ambiental vinculados al funcionamiento de la usina eléctrica a carbón, y las características de los ecosistemas de la zona. En los diagramas los círculos representan las acciones que introducen los principales factores de estrés (ej. emisión de efluentes gaseosos), los rectángulos indican elementos estructurales del ecosistema (ej. biomasa, concentración de metales), los hexágonos representan procesos o funciones del ecosistema (ej. producción primaria, procesos fisiológicos). El grado de detalle que se muestra es tal que permita visualizar todo el sistema, pudiéndose siempre analizar con más grado de detalle dentro de cada figura.

Potenciales efectos sobre el ecosistema acuático (Figura 3): Los estudios previos muestran que el ecosistema acuático en los cursos de agua relacionados a los posibles sitios de emplazamiento de la usina es relativamente sencillo. El sistema consta de una sola especie de pez, la trucha marrón, que es el componente más conspicuo del ecosistema. Esta especie se alimenta básicamente de invertebrados acuáticos (insectos y moluscos) y peces pequeños. Como no se han reportado otras especies de peces para estos arroyos se asume que la alimentación, es principalmente a base de invertebrados, como larvas de insectos.



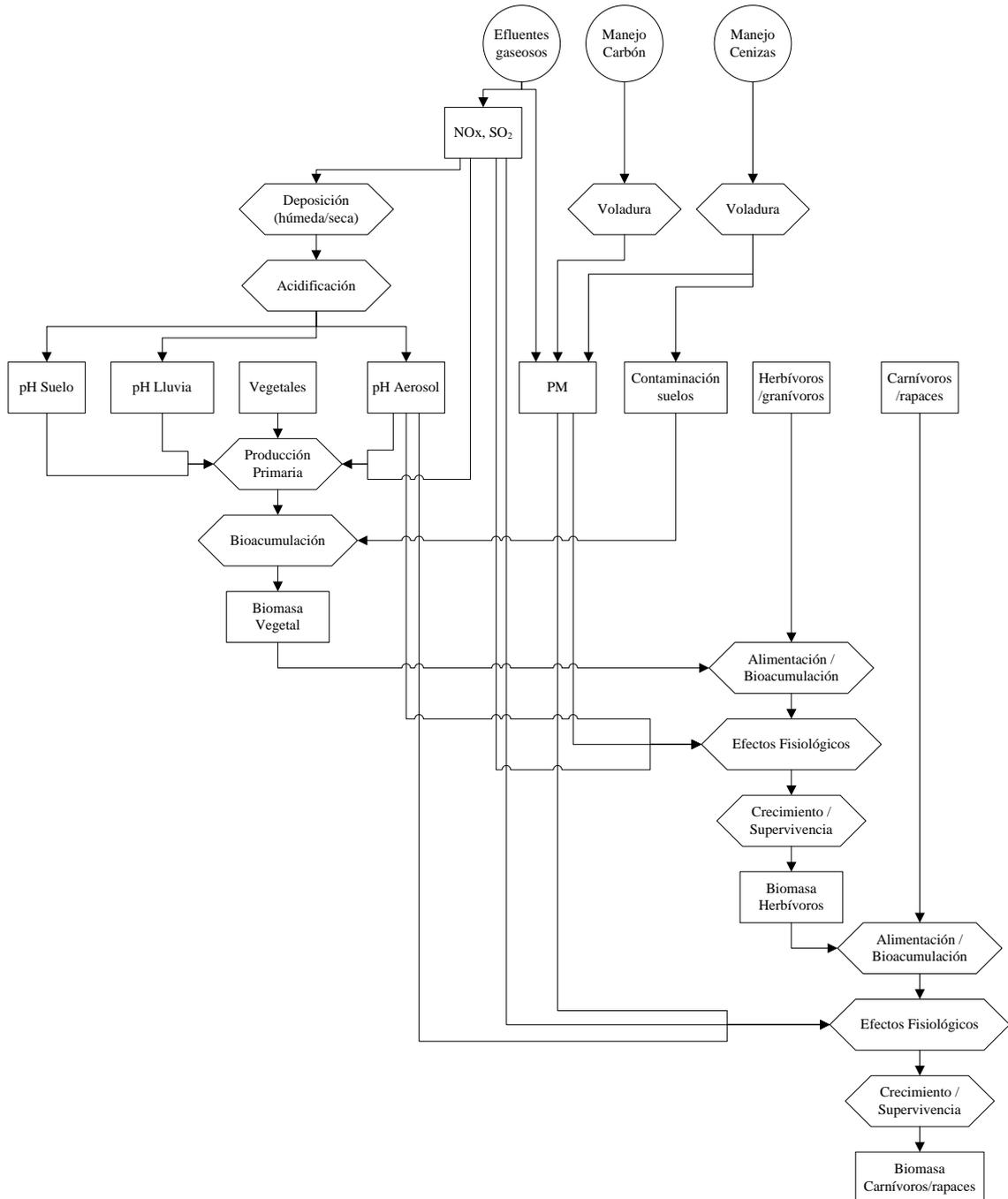
durante su transporte de un sitio a otro. Los procesos involucrados en el transporte de cenizas hasta los cursos de agua son semejantes a los descritos previamente. La diferencia es que las cenizas suelen poseer una mayor concentración de metales. Por ejemplo si se comparan los niveles de hierro de los análisis de carbón y cenizas, se observa que los niveles de este metal aumentan en las cenizas. Otra característica de las cenizas originadas de la combustión de carbón mineral es que son típicamente básicas por lo cual podrían causar un incremento del pH de las aguas al llegar a ellas, con alguna probabilidad de reducir la solubilidad y biodisponibilidad de los metales.

En la alternativa de emplazamiento de la Central en el Sitio 1, de existir eventuales voladuras de cenizas sobre el terreno de la planta y zonas adyacentes, se podrían esperar además (no mostrado en la Figura 3), movimiento de metales presentes en las cenizas hacia las aguas subterráneas por el lixiviado de los mismos durante las lluvias y los momentos de deshielo. Los metales lixiviados podrían alcanzar el curso de agua superficial, incrementando las concentraciones de metales. Sin embargo, este proceso es poco probable por el carácter básico de las cenizas y por la baja probabilidad asociada a la ocurrencia de dichas voladuras, dado el diseño de los recintos de almacenamiento transitorio.

Las variaciones del pH modifican la biodisponibilidad de los metales. Bajos pH no sólo producen efectos adversos sobre los organismos acuáticos por si mismo, sino que además aumentan la biodisponibilidad de los metales.

Otro potencial efecto sobre los ecosistemas acuáticos que podría ocurrir esperado como consecuencia de los efluentes líquidos, es el incremento térmico causado por la mayor temperatura del efluente, que se estima se halle entre los 25-50°C. El incremento de temperatura del curso de agua causa una reducción de la solubilidad de los gases como el O<sub>2</sub>, y un aumento de la DBO por el incremento de la tasa metabólica de los organismos. Los cambios de temperatura pueden poner en riesgo la supervivencia y reproducción de los peces. Se ha visto que puede inducir además cambios en la comunidad planctónica, bentónica y de los peces. Los cambios en la temperatura de agua suelen causar además alteraciones conductuales en los organismos, atrayéndolos o repeliéndolos de la zona de influencia. La temperatura puede tener también efectos sinérgicos sobre la acción de determinados tóxicos.

Potenciales efectos sobre el ecosistema terrestre (Figura 4): En el caso de la identificación de efectos sobre el ecosistema terrestre, el análisis se complejiza por el hecho que se trata de un ecosistema mas complejo y conocido en menor detalle. A modo hipotético se analizará una cadena trófica sencilla, conformada por un productor, un consumidor de primer orden (herbívoro) y un consumidor de segundo orden (carnívoro), que podría estar representando la cadena trófica formada por una gramínea del tipo *Festuca gracillima*, una liebre y un zorro, o la misma especie vegetal y una oveja (o vaca) y el hombre.



**Figura 4.** Modelo conceptual potenciales efectos sobre ecosistema terrestre

Sobre la base de los volúmenes que se manejan, de los antecedentes bibliográficos sobre los potenciales efectos que podrían inducir sobre el ecosistema terrestre por la operación de la usina térmica, los factores de estrés medioambiental identificados como de mayor relevancia fueron:

- las emisiones de efluentes gaseosos y
- el manejo del carbón y
- el manejo de las cenizas.

Como se mencionara anteriormente las emisiones gaseosas de estas usinas, liberan a la atmósfera SO<sub>2</sub>, NOx y PM. Ello conduce (SO<sub>2</sub> y NOx) a una potencial acidificación de las lluvias con sus consecuentes efectos sobre el suelo y la vegetación. Se ha observado también que el aumento de

los niveles de SO<sub>2</sub> por si mismo podría generar efectos adversos sobre la vegetación y otros organismos vivos. Además, los aerosoles que se forman pueden causar alteraciones sobre la fisiología del sistema respiratorio de los animales.

En este caso y como se mencionara previamente, no se espera un efecto de acidificación sensible en las precipitaciones ordinarias, por cuanto tampoco se espera afectación de este tipo sobre la vegetación y el suelo (análisis realizado de acuerdo a los niveles de emisión de diseño considerados). Adicionalmente, sólo se registran niveles considerables de concentración de SO<sub>2</sub> en inmisión, en áreas restringidas y bajo condiciones puntuales de máximos registrados en la modelación considerando varios años para el cálculo.

En cuanto al manejo del carbón y de las cenizas, los vientos pueden producir voladura de materiales livianos que incrementan los niveles de material particulado (PM) en la atmósfera. Por si mismo el material particulado, en concentraciones suficientemente elevadas, puede causar efectos adversos a los animales producto de su inhalación. Por otro lado, el material particulado sedimenta y se va acumulando sobre el terreno.

Particularmente en el caso de las cenizas que, como se mencionó previamente, pueden estar enriquecidas en metales tales como el aluminio, ello puede llevar a la contaminación del suelo e incluso lixiviar hacia el agua subterránea durante las lluvias o los deshielos de primavera.

De acuerdo al diseño de los recintos de almacenamiento de cenizas y a la recomendación de tapado de las pilas de carbón, no se espera que las voladuras se asocien a volúmenes importantes de material, restringiéndose el evento para casos de contingencia o accidente. Por otra parte, al momento de determinar el tipo de transporte a ser utilizado para el manejo de las cenizas, deberá considerarse la implementación de medidas tendientes a evitar las potenciales voladuras.

## 2.2 ANÁLISIS

### 2.2.1 Caracterización de la exposición

Como se mencionó previamente, los factores de estrés ecológicos que han sido identificados como de mayor relevancia son: las emisiones de efluentes gaseosos, los efluentes líquidos y el manejo del carbón y de las cenizas que se realizaran durante el funcionamiento de la usina.

Emisión de efluentes gaseosos: de acuerdo a la descripción del proyecto se estiman emisiones a la atmósfera a través de la chimenea de la central de

CO <sub>2</sub>	207,3	T/d
CO	6,3	T/d
SO <sub>2</sub>	3,8	T/d
NO <sub>x</sub>	3,8	T/d
PM	0,6	T/d

El análisis de la contribución del CO<sub>2</sub> a la atmósfera en relación a las emisiones nacionales y mundiales de este gas se describe en el Capítulo 4.

#### Modelado de dispersión atmosférica de SO<sub>2</sub>

El modelo de dispersión atmosférica de los gases se describe en el Capítulo 7, Punto 1. Según los resultados de la modelación, se registran zonas acotadas donde se superarían los niveles de inmisión considerados como guía, especialmente el de la OMS, para distintos promedios temporales. En este sentido vale destacar lo siguiente:

- La identificación de áreas donde se supera la norma, se realiza en base al evento modelado como máximo para el registro de datos utilizados (varios años)
- Los niveles de inmisión tomados como guía comparativa consideran la sumatoria de las emisiones y los valores de concentración de fondo. En este sentido, debido a la baja especificidad de las técnicas implementadas para las determinaciones de campo, los valores considerados como línea de base o fondo son relativamente altos, dejando un margen restringido para los aportes modelados.
- En términos espaciales, las áreas afectadas por valores de inmisión por encima de la norma marco utilizada como referencia y que además se encuentra dentro de una de las más restrictivas del mundo, resultan acotados a la ladera de dos cerros para el caso de ambas alternativas de localización de la Central.

De esta manera y considerando los máximos modelados para el período de datos utilizado, se determinan una serie de potenciales efectos cuya probabilidad de ocurrencia variará en función del grado de exposición que tengan los receptores en cada zona.

#### Material particulado en suspensión:

Para el caso del material particulado los resultados de la modelación arrojan, que el principal aporte corresponde a las potenciales voladuras de las pilas de carbón, por cuanto se recomienda su cobertura completa.

Para el caso de la cobertura de pilas, los niveles modelados, aún para los eventos considerados como máximos se encontrarían por debajo de los niveles guía considerados, salvo para el caso del PM<sub>10</sub>, (tiempo de promedio 24 horas), donde el nivel de base adoptado sería prácticamente igual al nivel guía, arrojando como resultado la superación del mismo en un área restringida asociada a la zona de la isopleta de máxima concentración modelada. En este caso nuevamente, la restricción radica principalmente en la especificidad de la técnica de muestreo utilizada para la determinación de la línea de base, debiéndose ampliar dicha determinación como primera medida.

Para el caso de las voladuras también deberán considerarse los potenciales eventos en caso de fallas en el sistema de cobertura de los sitios de acopio, así como durante el transporte de las cenizas hacia los sitios de disposición final, aunque como casos de accidente o contingencia.

El elemento más abundante en el carbón y las cenizas, luego de la sílice es el aluminio.

Como aspecto ambiental principal del material particulado, una vez en el medio, puede considerarse su sedimentación sobre el suelo o los cursos de agua. Durante las lluvias y épocas de deshielo elementos como el aluminio pueden lixiviar y pasar a las aguas subterráneas y/o superficiales.

Los elementos en el material depositado directamente sobre los cursos de agua pueden disolverse, quedando biodisponibles. De hecho los análisis químicos realizados (estudios realizados para el presente estudio y estudios de la Secretaría de Minería de la Nación), en muestras de suelo, aguas y sedimentos, así lo demuestran poniendo en evidencia que esto ya está ocurriendo como consecuencia de la actividad realizada en la zona. Por ejemplo, las concentraciones de aluminio en el agua de arroyos relativamente prístinos como el río Turbio previo a la confluencia con el arroyo San José es no detectables (<0,01 mg/L) mientras que en el arroyo San José y el río Turbio luego de la confluencia, los valores pasan generalmente el miligramo por litro, llegando hasta valores máximos de 33,4 mg/L.

El nivel de aluminio en las aguas subterráneas tomadas en el valle aluvial del arroyo San José llega a alcanzar valores máximos de hasta 0,9 mg/l superando los estándares de calidad para bebida humana, mientras que en muestras tomadas en el valle aluvial del arroyo Primavera, las

concentraciones de aluminio fueron no detectables ( $<0,01$  mg/L) (PASMA, 2001).

Respecto de los efectos de la voladura de las pilas sobre el cuerpo de agua, si bien el aporte de SST por esta fuente sería despreciable respecto de la línea de base (bajo efectos de fuerte antropización), el hecho de recomendar la cobertura de las pilas, daría como resultado un aporte nulo como depósito en los cuerpos de agua.

Efluentes líquidos: de acuerdo a la descripción de proyecto, la composición esperada de los efluentes líquidos cumplirá con la normativa provincial (ver Descripción de proyecto). Los volúmenes previstos son de  $18,5$  m<sup>3</sup>/h. Los caudales medios del río Turbio a la altura de la alternativa 1 son de  $3024$  y  $10116$  m<sup>3</sup>/h en invierno y verano, respectivamente (ver Punto Hidrología en LBA). Ello indica altos niveles de dilución del efluente para ambas alternativas.

Los potenciales impactos que podrían esperarse del efluente serían por un lado el cambio en la calidad del agua del cuerpo receptor por la introducción sustancias contaminantes, y por otro, un cambio en la temperatura del agua.

Como se mencionó previamente, los efluentes provendrán básicamente de una única planta de tratamientos que recibirá:

- i) drenajes aceitosos y generales de la planta: estos provendrán por un lado de la recolección y conducción de las purgas aceitosas de equipos y maquinaria localizados en las plantas de proceso y por otro de tareas de mantenimiento, limpieza y lavado de planta y maquinarias. Estos drenajes pasan por un separador de agua y aceites para luego dirigirse a la planta de tratamiento de efluentes.
- ii) drenajes no aceitosos: estos provendrán mayormente de la purga de la caldera y de las pérdidas del agua del sistema. Al tratarse de agua desmineralizada, los posibles contaminantes que pudiera aportar tienen que ver con los compuestos utilizados como anti-corrosivos, anti-incrustantes y removedores de OD (hidracina).
- iii) drenajes de la planta de tratamiento de aguas sanitarias: si la planta de tratamiento funciona correctamente y no se desecha otro tipo de sustancias por esta vía, sólo incrementaría los niveles de DBO pero en un grado que no se espera que se trate de una fuente significativa de impacto.

El modelado del impacto térmico del efluente estima que en invierno (peor escenario) el salto térmico causado por el efluente saliendo a  $50$  será de  $0,53$  y  $2,3$  °C para las alternativas 1 y 2, respectivamente. En verano, el incremento térmico esperado será de sólo  $0,39$  y  $1,8$  °C para cada alternativa.

Las extensiones temporales y espaciales en relación a las exposiciones relacionadas con las variaciones tanto en la calidad del agua como en el cambio de temperatura se espera sean algo diferentes. En el caso de la calidad del agua, la duración e intensidad de las variaciones será intermitente, pudiendo aumentar la descarga de contaminantes en períodos de lavados de planta, lluvias o deshielos. Contrariamente, se espera que el efecto térmico sea más continuo, quizá presentando si, variaciones estacionales debido tanto al comportamiento estacional del caudal del curso de agua como de la temperatura ambiente. El modelado del incremento térmico inducido por el efluente se estima que se anulará a una distancia de  $12 - 15$  km del punto de descarga del efluente.

## 2.2.2 Caracterización de los efectos

### 2.2.2.1 Caracterización de los potenciales efectos sobre el ecosistema acuático: Efectos sobre trucha marrón

#### a) Efectos de la Temperatura.

Como se mencionó previamente se espera que el efluente de la Central produzca incrementos en la temperatura del agua de entre 0,4 y 2,3 °C. Los efectos causados por la contaminación térmica de los efluentes de centrales eléctricas ha sido motivo de preocupación ya desde la década del 60 (Davidson and Bradshaw, 1967). En relación a su efecto sobre los peces, los principales efectos negativos atribuidos a este tipo de contaminación son:

- a) La reducción de la solubilidad de los gases como el O<sub>2</sub>
- b) El aumento de la DBO por el incremento de la tasa metabólica de los organismos.
- c) Las alteraciones conductuales en los organismos, atrayéndolos o repeliéndolos de la zona de influencia
- d) Los cambios en las tasas de supervivencia y reproducción.
- e) Las alteraciones de la alimentación por cambios en la comunidad planctónica y bentónica.
- f) Los sinergismos sobre la acción de determinados tóxicos

Los Niveles Guía de Calidad para la Protección de la Vida Acuática de Canadá, respecto a la temperatura, establecen que no deberían inducirse en los sistemas acuáticos variaciones térmicas mayores a  $\pm 1$  °C con tasas de salto térmico menores a 0,5 °C/h (CCME, 1999).

En particular los salmónidos son especialmente sensibles a los aumentos de la temperatura. En este sentido, el gobierno de British Columbia, Canadá, ha establecido Niveles Guía de Calidad de Agua para la temperatura, que para la Protección de la Vida Acuática establece valores de  $\pm 1$  °C respecto al intervalo de temperaturas establecido para la especie más sensible, con una tasa de variación térmica no mayor a 1 °C (MWLAP, 2001). Particularmente, establece como intervalo de temperaturas para los distintos estadios de la trucha marrón los siguientes:

Incubación	1,0 – 10,0	°C
Crecimiento	6,0 – 17,6	°C
Desove	7,2 – 12,8	°C

#### b) Efectos de metales (Aluminio):

El aluminio es el metal más abundante de la corteza terrestre. El aluminio en el medio acuático puede tener un importante impacto sobre la vida acuática. La lluvia ácida ha sido implicada en la pérdida de poblaciones de peces en aguas en las que la movilización del aluminio es susceptible al pH (Baker and Schofield, 1982; Palmer et al., 1988; Sadler and Lynam, 1988; DeLonay et al., 1993; Wilson et al., 1994; Buckler et al., 1995). Las lluvias y deshielos pueden también repercutir en las concentraciones de aluminio en el medio acuático por lixiviación grandes de cantidades de aluminio desde los suelos en las cuencas hidrográficas (Mount et al., 1900; Gunn and Noakes, 1987). Los cambios a corto plazo en las concentraciones de aluminio causados por estos hechos pueden tener graves efectos sobre la biota acuática.

La toxicidad de aluminio está fuertemente influenciada por el pH y las concentraciones de carbono orgánico disuelto (Baker and Schofield, 1982; Palmer et al., 1988; Sadler and Lynam, 1988; Parkhurst et al., 1990; DeLonay et al., 1993; Wilson et al., 1994; Buckler et al., 1995). En consecuencia, los Niveles Guía de Calidad de Aguas para la Protección de la Vida Acuática para Aluminio Total, desarrollados por Canadá (CCME, 2003) en función de la toxicidad de este metal para las plantas, los anfibios, los peces y los invertebrados acuáticos se expresa en función de estas dos variables. Estos niveles se derivan tanto de efectos agudos como crónicos, tomando para el caso

de los peces, la mortalidad como el punto final más sensible. La relación entre la toxicidad del aluminio y el pH muestra un máximo en pH levemente ácidos (próximo a 6). Los niveles guía, expresados en µg/L son los siguientes:

pH	DOC (mg·L-1)				
	0.5	2.5	5	7.5	10
5.2	84	87	120	154	201
5.6	98	116	149	193	252
6.0	92	108	137	178	232
6.4	74	82	97	121	156
>6.4	74	82	97	121	156

En particular se han podido relevar más de 40 estudios donde se evalúan, bajo diferentes condiciones de exposición, una gran variedad de respuestas tóxicas en trucha marrón (*Salmo trutta*) expuestas a aluminio, indicando que los niveles guía canadienses resultan adecuados para la protección de esta especie.

### 2.2.2.2 Caracterización de los potenciales efectos sobre el ecosistema terrestre.

#### a) Efectos asociados a las emisiones de SO<sub>2</sub>:

##### *Vegetales*

Uno de los efectos ambientales más relevantes en relación a las emisiones de SO<sub>2</sub>, es el vinculado a la capacidad de esta sustancia de reaccionar en la atmósfera formando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y provocar las deposiciones ácidas. Tales deposiciones han causado efectos adversos tanto en los ecosistemas acuáticos como terrestres.

En los ecosistemas terrestres, las deposiciones ácidas han sido asociadas a efectos tanto sobre los vegetales como los animales y el hombre.

Los niveles críticos establecidos en Egham 1992 para efectos inducido por el SO<sub>2</sub> sobre la vegetación han sido de 10 µg/m<sup>3</sup> para líquenes y cianobacterias (valor promedio anual) y de 20 y 30 µg/m<sup>3</sup> para ecosistemas boscosos y vegetación semi-natural, respectivamente (promedio anual y promedio invernal) (Ashmore and Wilson, 1996). Estos valores han sido adoptados por la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2000) y han sido confirmados recientemente en el manual realizado para modelar y mapear cargas y niveles críticos y sus excesos y para la modelación dinámica de la acidificación realizado en el marco del programa de cooperación internacional sobre modelación y mapeo de cargas y niveles críticos y efectos, riesgos y tendencias de contaminación atmosférica (UNECE, 2004).

##### *Animales*

Los efectos del SO<sub>2</sub> sobre los animales han sido estudiados mayormente en ratas, ratones, hamsters, conejos y perros, y han estado orientados en su mayoría a evaluar efectos fisiológicos (Nikula and Green, 2000). Sin embargo, la mayoría se han desarrollado bajo condiciones “artificiales” de exposición y no se han establecido aún relaciones directas entre estas disfunciones fisiológicas y otros parámetros de mayor relevancia ecológica como lo son la supervivencia, crecimiento y reproducción. Menor aún han sido los estudios realizados utilizando ganado. Se han encontrado algunos trabajos realizados en ovejas, pero que están focalizados a evaluar efectos sobre el sistema respiratorio (Abraham et al., 1980, 1981; Maurer et al., 1981; Abraham et al., 1986) dando una visión muy parcial del problema.

Contrariamente, los estudios epidemiológicos de calidad de aire han sido intensamente desarrollados en relación a la salud humana, correlacionando, mediante grandes volúmenes de datos epidemiológicos, concentraciones de los contaminantes atmosféricos, como el SO<sub>2</sub> y el PM, y respuestas a nivel de la mortalidad y la morbilidad en las poblaciones humanas. Del mismo modo que los modelos, animales son utilizados para evaluar los posibles mecanismos a través de los cuales los contaminantes atmosféricos causan las afecciones observadas en los seres humanos, para el presente análisis se ha optado por asumir que los efectos del SO<sub>2</sub> sobre la salud humana y la de otros mamíferos superiores pueden ser comparables. En consecuencia el análisis de los potenciales efectos del SO<sub>2</sub> sobre el ganado y mamíferos silvestres será basado en datos provenientes de estudios sobre la salud humana.

En este sentido, el nivel guía de calidad de aire establecido recientemente por la OMS para el SO<sub>2</sub> es de 20 µg/m<sup>3</sup> (promedio para 24 hs) (OMS, 2006). Este valor es menor a los 50 µg/m<sup>3</sup> establecidos previamente por la propia OMS como promedio anual y a los 70 µg/m<sup>3</sup> determinado como promedio mensual por la legislación argentina como Norma Nacional de Calidad de Aire (Ley 20.284). Esta decisión ha sido fundada en estudios recientes realizados a partir de series cronológicas sobre hospitalizaciones por enfermedades cardíacas en Hong Kong y Londres en los que no se obtuvo ninguna prueba de un umbral para los efectos en la salud con concentraciones de SO<sub>2</sub> durante 24 horas del orden de 5-40 µg/m<sup>3</sup> (Wong et al., 2002).

Además, en otro estudio se demostró que los niveles de SO<sub>2</sub> durante 24 horas se correlacionaban significativamente con las tasas de mortalidad diaria en 12 ciudades canadienses en las que la concentración media era de sólo 5 µg/m<sup>3</sup> (el nivel medio más alto de SO<sub>2</sub> fue inferior a 10 µg/m<sup>3</sup>) (Burnett et al., 2004). Consistentemente, otro estudio realizado por la Sociedad Americana del Cáncer (ACS), mostró una asociación significativa entre el SO<sub>2</sub> y la mortalidad para la cohorte de 1982-1988 en 126 zonas metropolitanas de los Estados Unidos en las que la concentración media registrada de SO<sub>2</sub> era de 18 µg/m<sup>3</sup> y la media más alta de 85 µg/m<sup>3</sup> (Pope et al., 2002).

En el caso de que hubiera un umbral para los efectos en cualquiera de estos estudios, tendría que ser muy bajo. Por tal motivo y en virtud de las incertidumbres que aún hoy existen respecto a los efectos observados en relación al SO<sub>2</sub>, la OMS ha establecido 20 µg/m<sup>3</sup> como nuevo nivel guía de calidad de aire (concentración de inmisión). Estos valores minimizan además el riesgo de las exposiciones a largo plazo, e indican que se esperaría un incremento de la mortalidad y morbilidad en poblaciones expuestas a concentraciones mayores a este límite.

#### Efectos asociados a material particulado en aire:

Al igual que en el punto anterior la información que pudo recavarse sobre los efectos del material particulado sobre poblaciones de animales silvestres o ganado, es insuficiente como para realizar una evaluación de riesgo, adoptando nuevamente como alternativa la extrapolación a partir de estudios sobre la salud humana.

En este sentido, el nivel guía de calidad de aire definido para el material particulado en suspensión por la OMS es de 10 y 20 µg/m<sup>3</sup> (promedio anual) para el PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub>, asumiendo que la relación entre PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> en la mayoría de los países en desarrollo es de 0,5. La adopción de estos niveles se funda en la importancia que han tenido a los estudios de exposición prolongada basados en los datos de la ACS y los de Harvard (Dockery et al., 1993; Pope et al., 1995; Krewski et al., 2000; Pope et al., 2002; Jerrett et al., 2005). En todos estos estudios se han podido establecer asociaciones claras entre la exposición prolongada al PM<sub>2,5</sub> y la tasa de mortalidad. La concentración media histórica de PM<sub>2,5</sub> en el estudio Harvard fue de 18 µg/m<sup>3</sup> (intervalo de 11,0 a 29,6 µg/m<sup>3</sup>) y en el estudio de la ACS de 20 µg/m<sup>3</sup> (intervalo de 9,0 a 33,5 µg/m<sup>3</sup>). Estos estudios tampoco observaron umbrales para los efectos observados.

Estas asociaciones, así como las mediciones y determinaciones de PM<sub>2,5</sub> se han comenzado a implementar, en algunos países del mundo de manera reciente. Lamentablemente, pocos países

cuentan con instrumental apropiado para realizarlas y muy pocos presentan reglamentación al respecto, encontrándose bajo estudio la posible normalización de técnicas, límites y determinaciones en países como el nuestro.

De acuerdo al análisis realizado por la OMS, se esperaría que aquellos animales expuestos a niveles mayores que los niveles guía se encuentren en riesgo de contraer afecciones pulmonares y cardíacas, con el consecuente incremento en la tasa de mortalidad.

## 2.3 CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

### 2.3.1 Caracterización del riesgo sobre el ecosistema acuático.

#### Riesgo asociado al cambio de la temperatura:

La temperatura del arroyo San José y río Turbio, están comprendidas entre 0,1 y 12,6 °C. Los intervalos de temperatura requeridos por la trucha marrón para una normal incubación, crecimiento y desove son 1,0-10,0, 6,0-17,6 y 7,2-12,6, respectivamente. Puede observarse una correcta superposición entre los requerimientos de la especie y las características térmicas de estos cursos de agua. El modelado de los efluentes prevé para el peor escenario (un efluente de 50 °C en invierno) un salto térmico de 0,53 y 2,3 °C para la alternativa 1 y 2 respectivamente. Ello elevaría en el peor de los casos la temperatura del arroyo en invierno a 0,63 y 2,4 °C, temperatura perfectamente compatible con las necesidades del ciclo de vida. En verano el salto térmico sería de 0,39 y 1,8, llevando las temperaturas a 13,0 y 13,4°C en cada caso. De acuerdo a los niveles guías de calidad de aguas para la protección de la vida acuática en relación a la temperatura desarrollados por la Provincia de British Columbia (CA), la temperatura no debería superar en más de un grado centígrado la del límite máximo para ninguna de las fases del ciclo de vida de la especie. De aquí puede verse que las nuevas temperaturas no afectarían el crecimiento en ninguna de las dos ubicaciones, ni el desove en la alternativa 1, mientras que se excedería la temperatura de incubación en ambas alternativas (ello ya ocurriría en verano sin el efluente) y de desove en la alternativa 2.

*Dado que se trata del peor escenario y que la extensión espacial es muy reducida, se considera que el efecto de la temperatura no implica un riesgo para el normal desarrollo del ciclo de vida de la supervivencia de la trucha marrón. Esto sumado a que se trata de cursos de aguas frías y con alto contenido de oxígeno disuelto. Incluso si se quisiese evitar el salto térmico, se puede realizar en el camino del efluente una serie de cascadas que con las bajas temperaturas ambientes enfriarían rápidamente el efluente, o también se puede realizar la equalización de las aguas de forma previa a su vertido.*

#### Riesgo a la acidificación y la exposición a metales (Aluminio):

Los cursos de agua en cuestión se caracterizan por poseer en general pH mayores a 6,4 (de hecho las mediciones realizadas al momento de la toma de muestras han registrado pH superiores a estos: entre 7 y 8), aguas relativamente blandas, y con muy baja concentración de carbono orgánico disuelto. Los niveles guía para la protección de la vida acuática desarrollados por Canadá para aluminio indican que para cursos de aguas de estas características el nivel guía para aluminio total es de 74 µg/L. Los niveles de base del arroyo San José y del río Turbio presentan actualmente niveles de aluminio de hasta 33.400 µg/l valor que supera notablemente la guía. Ello es consistente con la baja riqueza específica en el arroyo y con el escaso número de ejemplares de trucha marrón que allí se encuentran en comparación con el arroyo primavera.

*Esto implica, que si bien se han recomendado medidas para evitar el aporte de este material por acción de la Central, el ambiente se encuentra actualmente saturado en la zona de estudio, no pudiendo absorber una mayor carga, sino que es necesario minimizar la existente.*

*En consecuencia, dado que estos factores de estrés ocupan una porción relativamente extensa del*

arroyo (hasta 2.300 m), que es un proceso continuo y acumulativo, y que la capacidad depuradora del sistema se encuentra actualmente saturada, el riesgo ecotoxicológico es alto, aconsejándose acciones de saneamiento, remediación y restauración del sistema.

### **2.3.2 Caracterización de los riesgos sobre el ecosistema terrestre.**

#### **Riesgo asociado a las emisiones de SO<sub>2</sub>:**

##### *Vegetación.*

Los niveles guía para la protección de la vegetación a la acción del SO<sub>2</sub> establecen valores promedios anuales de concentración menores o iguales a 0,020mg/m<sup>3</sup> para ecosistemas boscosos y vegetación semi-natural. El modelo de dispersión atmosférica pronosticó valores de promedio anuales de concentración de SO<sub>2</sub> claramente inferiores a ese valor en toda la zona de influencia.

*En principio, bajo los resultados del modelo de calidad de aire, pareciera existir un riesgo bajo para la vegetación, aunque se recomendaría un monitoreo sistemático de salud de la misma y de los niveles de SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> en particular tratándose de la zona de un área considerada por la provincia como crítica y que presenta bosque de especies endémicas. Este caso sólo correspondería a las zonas donde los máximos modelados (eventos puntuales en el período considerado de análisis, varios años), determinan valores de superación.*

##### *Animales*

Según las predicciones del modelo de dispersión atmosférica, los niveles guía de calidad de aire establecidos por la OMS para los niveles de SO<sub>2</sub> promedio tanto para 1 h como para 24 h han sido sobrepasados en algún sector de la zona de influencia. El nivel guía para 24 hs ha sido sobrepasado, principalmente porque el nivel de fondo considerado para la modelación superaría de por sí la guía.

*En consecuencia puede decirse que existe un riesgo bajo de exposición para el ganado y otros vertebrados de respiración aérea, que habiten en la zona de influencia. Esto podría traer aparejado un aumento en el índice de mortalidad y morbilidad para estas poblaciones, recomendándose un estricto control de las emisiones y un monitoreo del estado de salud del ganado y la fauna (vale considerar que los estándares utilizados corresponden a la protección de la salud humana –OMS-, por cuanto este análisis resulta preliminar ya que no existe acabada información respecto de la relación entre las especies).*

#### **Riesgo asociado a material particulado en aire:**

De acuerdo al modelo de dispersión atmosférica, las concentraciones de material particulado total en suspensión no representarían un riesgo para los animales. Sólo el caso de PM<sub>10</sub> promedio diario (24 hs) superaría en mayor medida los niveles guía de calidad de aire recomendados por la OMS, estando esta situación asociada a los niveles de fondo considerados para el modelo (considerando la situación de pilas cubiertas).

En este caso, se recomienda ajustar los niveles de fondo, previo a la determinación de potenciales afectaciones sobre estos receptores (ganado).

### **3. CONSIDERACIONES FINALES**

*Como comentario final de la evaluación de riesgo ecotoxicológico vinculada a la fase de operación de la Central Térmica a Carbón Río Turbio, se puede resaltar que el emprendimiento se realiza en una zona considerada desde el punto de vista ambiental como crítica para la provincia de Santa Cruz, que se trata de un emprendimiento cuya envergadura en cuanto a volúmenes de materia y energía que movilizará requiere se tomen todas las precauciones para evitar efectos adverso irreversibles*

sobre los ecosistemas asociados.

*El análisis de riesgo ecotoxicológico ha identificado el problema de la contaminación de agua superficial del arroyo San José y río Turbio como el punto crítico, puesto que se trata de un ecosistema cuya capacidad de depuración ha sido sobrepasada y que por tanto se encuentra en el límite para recibir factores de estrés adicionales hasta tanto no sea saneado, remediado y restaurada su capacidad depuradora natural. Su estado de degradación se debe principalmente al incremento de las concentraciones de metales, en particular aluminio, y los sólidos suspendidos producto de la actividad desarrollada en la zona, pero que podría ser empeorado por la operación de la central térmica, si no se toman las acciones recomendadas.*

*Asimismo resulta fundamental mantener niveles controlados de emisión y llevar registros documentados del monitoreo continuo en chimenea.*

*Los efectos de la contaminación aérea por parte del SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> y el salto térmico asociado a la descarga de los efluentes de la Central, representarían sólo un riesgo bajo para los receptores analizados, tal como se describió precedentemente.*