

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ (PRESIDENTE DR. NÉSTOR C. KIRCHNER Y GOBERNADOR JORGE CEPERNIC), PROVINCIA DE SANTA CRUZ

CAPÍTULO 5 – ESTUDIOS ESPECIALES

PUNTO 4 – ANÁLISIS DE LAS ESCALAS DE PECES PROPUESTAS

INDICE

4	ANÁLISIS DE LAS ESCALAS DE PECES PROPUESTAS	2
4.1	CONSIDERACIONES GENERALES	2
4.2	CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS ESCALAS	2
4.3	CAPACIDAD DISIPATIVA DE ENERGÍA DE LOS ESTANQUES	4
4.4	ALTURA DEL SALTO HIDRÁULICO	4
4.5	VELOCIDAD DEL AGUA EN EL VERTEDERO DE LOS ESTANQUES	4
4.6	CAUDAL DE ATRACCIÓN O LLAMADA	5
4.7	CARACTERÍSTICAS DE LA ENTRADA Y FLUJO DE ATRACCIÓN	6
4.8	ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS	7
4.9	EVALUACIÓN GLOBAL DEL DISEÑO DE LOS PASOS PARA PECES	8
4.10	SALIDAS DE LAS ESCALAS	9
4.11	CONCLUSIÓN	10
4.12	BIBLIOGRAFÍA	12

4 ANÁLISIS DE LAS ESCALAS DE PECES PROPUESTAS

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Tal como fuera descripto en el Punto 10 de la LBA (Capítulo 4), el río Santa Cruz se diferencia de la gran mayoría de los ríos patagónicos por tener especies anádromas. Ello significa que las mismas cumplen su ciclo de vida migrando entre el medio marino, donde crecen y el dulceacuícola donde se reproducen. De acuerdo a la información recopilada por diversos organismos de investigación y de manejo de los recursos pesqueros provinciales y tal cual se ha detallado en la Línea de Base, esta característica se ha comprobado para una especie nativa, la lamprea (*Geotria australis*), que es un agnato y dos especies de peces exóticos como la trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) y el salmón del Pacífico (*Oncorhynchus tshawytscha*). Una cuarta especie, el puyen chico (*Galaxias maculatus*) y que es nativa, parece realizar también migraciones al mar y parece tener anadromía parcial. Mientras la lamprea y el salmón Chinook son semélparos, la trucha arco iris en su variedad anádroma es iterópara. Los movimientos ascendentes de estas especies persiguen fines reproductivos mientras los descendentes se asocian con el crecimiento y fines tróficos y difieren en sus estadios de vida (Tabla 4-1). En el caso del puyen la especie habita principalmente el curso inferior con lo cual sus migraciones tienen una dispersión mucho menor. De tal modo, las especies migratorias del río Santa Cruz requieren ingresar al río y desplazarse distancias variable, para lo cual en algunos casos deben superar el obstáculo que puede suponer la instalación de las presas.

Tabla 4-1. Estadios de las especies que realizan migraciones ascendentes y descendentes en el río Santa Cruz.

Espece	Migración ascendente	Migración descendente	Sector del río utilizados para las migraciones
Trucha arco iris	Preadulto la primera vez Adulto en migraciones sucesivas	Adulto y juvenil	Inferior, medio y superior
Salmón Chinook	Adulto	Juvenil	Inferior, medio y superior
Lamprea	Adulto	Juvenil	Inferior, medio y superior
Puyen chico	Juveniles	Larvas	Inferior

4.2 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS ESCALAS

De acuerdo con la última información presentada por la UTE (ver Capítulo 2 – Descripción del Proyecto) las escalas propuestas para las presas Presidente Néstor Kirchner (presa NK) y Gobernador Jorge Cepernik (presa JC) combinan una estructura de estanques sucesivos con vertederos sumergidos con un sistema de esclusa que permite salvar el desnivel desde el último estanque hasta el nivel que posea el embalse. Este diseño se ha ido perfeccionando a medida que avanza el proyecto ejecutivo y se prevé sea retroalimentado por los estudios de peces, de forma tal que pueda ajustarse lo más posible a sus requerimientos migratorios.

La traza de la escala NK se ubica sobre la margen izquierda de la central (margen izquierda del río), en el espaldón de aguas abajo de la presa y en parte por un sobreebanco del paramento aguas abajo de la presa y tiene una pendiente longitudinal del 10%.

En el caso de la escala de JC, la misma se desarrollará finalmente sobre la derecha de la nave de montaje, plataforma de acceso y estacionamiento perteneciente a la central Jorge Cepernic (en la margen derecha del río). Al respecto, resulta importante mencionar que el Pliego de Licitación original preveía la instalación de la escala en la margen adyacente al vertedero (margen izquierda del río).

En ambos casos, las dimensiones de cada estanque serán de 6 m de largo por 4 m de ancho con vertederos que operan de manera sumergida y en posiciones alternadas en los estanques sucesivos. La abertura de cada vertedero es de 0,7 m y su base se encuentra a 2,10 m del fondo del estanque.

Para el caso del ancho de la hendidura de vertedero, las normas sugieren un valor mínimo de 0,3-0,4 m para grandes salmones. Considerando la talla máxima de los peces que pueden subir por las escalas las dimensiones de los estanques (longitud, ancho y profundidad) se ajustan también a la normas. Una importante limitación del sistema propuesto es la falta de estanques de descanso. Estos son siempre recomendables para permitir la recuperación de los peces y reducir la fatiga generada por el uso de la escala, particularmente cuando estas se instalan en presas de gran altura como son las que se prevé construir. Así, este aspecto será incorporado al diseño.

Respecto a la profundidad máxima los pasos para salmónidos poseen en general profundidades máximas de 1,5 m-2,0 m y es recomendable que estos fondos simulen el entorno natural, aspecto que también se incorporará al diseño. La adaptación de los fondos de los estanques reduce la velocidad del agua en el fondo y simula mucho mejor las condiciones naturales que se encuentran en el río, ya que los salmónidos migran utilizando el área próxima al veril donde predominan los cantos (clastos mayores a 250 mm de diámetro) y en menor medidas los clastos tipo guijarro.

De acuerdo a la pendiente que tendrá el sistema se deduce que la diferencia de altura entre estanques sucesivos es de 0,60 m. La información disponible no permite conocer el ancho de los tabiques del vertedero ni si los mismos son o no redondeados, factores que influyen sobre la turbulencia creada en el estanque inferior. Según la descripción de la escala, se anticipa que el caudal a través de la misma será de 3 m³/s, lo que se incrementará a 7 m³/s en la entrada gracias a la presencia de dos tuberías laterales que transportan un caudal de 4 m³/s y que tendrá la función de actuar como caudal auxiliar. No se conoce si el ingreso del caudal auxiliar será por difusores laterales o de fondo y si se dispone de algún mecanismo para evitar que el mismo inyecte aire.

La escala propuesta posee vertederos localizados en forma alterna. Es necesario verificar las ventajas hidráulicas de este diseño dado que existen diversos estudios que discuten la conveniencia de este modelo por sobre tener los vertederos alineados a lo que se suma el hecho de que los vertederos alineados favorece la deriva natural de ramas y evitan que las misma queden inmovilizadas en los estanques.

Tal como fuera mencionado para JC, el Pliego de Licitación original preveía la instalación de la escala en la margen adyacente al vertedero. Dado que el mismo no contempla un funcionamiento continuo y ante la posibilidad que se formen zonas de aguas muertas, se ha propuesto instalar la misma en la orilla opuesta, esto es junto a la salida de turbinas. Ello se considera un cambio importante y necesario respecto al diseño original.

4.3 CAPACIDAD DISIPATIVA DE ENERGÍA DE LOS ESTANQUES

Un tema crítico en el diseño de los estanques debe ser la posibilidad de que los mismos exhiban una adecuada capacidad de disipar la energía que transporta el agua. La energía disipada por unidad de volumen del estanque (en Watts/m³) es un indicador de la capacidad del estanque de reducir la turbulencia y ello es fundamental para evitar que los peces de fatiguen o tengan dificultades en encontrar el pasaje al siguiente estanque. Los excesos de turbulencia y aireación en el estanque decrecen la eficiencia de pasaje. Es importante señalar que en el caso de salmónidos de gran porte se acepta que la energía que posee el estanque no debe exceder 150-200 Watts/m³ de estanque, pero en escalas de gran longitud es preferible utilizar el rango inferior de este valor. Por otro lado, para especies más pequeñas, el límite de energía remanente no debe superar los 150 watts/m³. El diseño considerado hasta el momento no fija las condiciones de este parámetro. Un cálculo realizado a partir del caudal que ingresa a cada estanque, de la diferencia de nivel entre estanques y del volumen disponible permite estimar que la densidad de energía de estos estanques será de 350 W/m³, es decir casi el doble de lo recomendado. Para alcanzar los valores apropiados la diferencia de nivel debería reducirse a 0,43 cm, manteniendo el resto de los parámetros sin modificar. Por su parte, los estanques de descanso (no previstos al momento en el diseño de la escala) deben tener una densidad de energía no mayor a 50 Watts/m³ y aquellos estanques que doblan más de 90° en el recorrido de la escala no deberían superar los 100 W/m³.

Estos aspectos se prevé serán incorporados en el diseño de las escalas, dado que el proyecto se encuentra en definición.

4.4 ALTURA DEL SALTO HIDRÁULICO

La diferencia de niveles esperada entre estanques en la escala es de 0,6 m, lo cual excede la altura recomendada para escalas que deben pasar salmones y truchas. Para estas especies la diferencia requerida es de 0,3 m y como máximo 0,45 m, mientras para especies de menor tamaño estas diferencias no deberían superar 0,15 a 0,2 m. Si bien se estima que los salmones de mayor porte podrían ascender incluso con diferencias de 0,6 m, ello ya no sería posible para la lamprea, que posee capacidad natatoria muy inferior y prefiere ocupar los fondos de los estanques. En consecuencia, para alcanzar los estándares de energía disipada sin modificar las dimensiones de los estanques se debe reducir la diferencia del salto hidráulico entre estanques a no más de 0,4 m. Este desnivel es el máximo que podría admitirse para asegurarse el paso de la trucha steelhead y el salmón chinook. Si las dimensiones de los estanques se mantienen y partiendo del supuesto que se requiere 0,011 m³ de estanque para contener 0,4 kg de pescado, cada uno de estos estanques estaría en condiciones de permitir el pasaje de 364 peces de 5 kg cada uno, lo que es aproximadamente equivalente al peso que presentan en promedio ejemplares adultos (de más de tres años) de la trucha steelhead del río Santa Cruz. En consecuencia, se prevé revisar el diseño de la escala para permitir reducir la energía circulante y facilitar el pasaje de la lamprea o bien diseñar un sistema de escala específica para esta especie. Asimismo, de los estudios adicionales que se proponen se tomarán aspectos característicos de las especies y sus dinámicas que permitan seguir avanzando en el ajuste de las escalas.

4.5 VELOCIDAD DEL AGUA EN EL VERTEDERO DE LOS ESTANQUES

Un problema estrechamente relacionado con la diferencia de niveles que presenta la propuesta es la alta velocidad que se tendría en la zona del salto de agua. Para diferencias de nivel de nivel de 0,6 m se produciría una velocidad máxima de 3,42 m/s. Ciertamente, esta velocidad en la escala no sería limitante para la trucha steelhead que puede mantener una velocidad de natación crucero de 20 minutos nadando en forma continua a 3,4 m/s aproximadamente, pero podría causar fatiga, particularmente en la escala de la presa NK que posee la mayor altura. Estas consideraciones no se presentan en la información generada por la UTE hasta el momento pero claramente las velocidades en los vertederos serán críticas para permitir el paso de lampreas.

Aun cuando la velocidad máxima de corriente en el río se encuentra en 3 m/s en el mes de abril, que es cuando los salmónidos se encuentran todavía remontando el río, es importante recordar que el cauce ofrece variedad de ambientes con mucha menor velocidad en los veriles teniendo los peces incluso la posibilidad de reducir su velocidad ascendente en áreas donde la corriente es de muy baja intensidad. Por ejemplo, y de acuerdo a lo especificado en la Línea de Base, a 5-10 m de la orilla la velocidad del escurrimiento se reduce a no más de 1,5 m/s. En el río Santa Cruz, durante el período migratorio la velocidad del río en su zona central supera la velocidad sostenida de la steelhead (1,4 m/s) de modo que la especie debe desplazarse por áreas de menor velocidad de corriente como son los veriles. Si bien la velocidad crucero de la especie es de 4,18 m/s, la misma no puede ser mantenida durante un tiempo excesivo (Bell 1992). Para salmónidos de 70 cm que nadan en aguas de 8 °C, por ejemplo, la velocidad crucero tendría una duración máxima de 5 minutos (Beach 1984). Por otro lado, si bien la velocidad de punta de la especie (8m/s) le permitiría superar fácilmente los desniveles de la escala, esta velocidad es solo aplicable para obstáculos ocasionales como saltos de gran altura o correderas extensas de gran pendiente, y por lo tanto, no puede ser utilizada como parámetro de referencia cuando se trata de atravesar una escala extensa. Es por ello que el diseño propuesto con saltos hidráulicos de 0,6m no es compatible con las demandas energéticas de las especies presentes ya que la velocidad generada (3,4 m/s) es un 40% mayor que la que se produce con saltos de 0,3 m y que explica porque la velocidad recomendada para salmónidos no debiera superar los 2,4 m/s. Este aspecto se incorporará al diseño del sistema de paso.

4.6 CAUDAL DE ATRACCIÓN O LLAMADA

Los caudales de atracción desempeñan acaso el rol más crítico en cuanto a definir la eficiencia de las escalas, y por lo tanto se han desarrollado recomendaciones basadas en diversos criterios. Como criterio de diseño se toma un caudal de atracción de 7 m³/s que representa el 1% del módulo medio anual. La aptitud o no de este caudal debe ser evaluado en función de los requerimientos ecológicos de las especies que se encuentren en cada río, de las características hidrológicas presentes y los aspectos estructurales de las obras que a su vez definen el escenario hidráulico e hidrodinámico esperado en la zona de restitución. Por ejemplo, para ríos franceses de más de 100 m³/s lo recomendado es disponer de un caudal que sea el 1-5% del caudal que llega a la zona de restitución (Larinier 2002). Para la época de migraciones en el río Santa Cruz (febrero-abril), y de acuerdo al módulo que transporta el río, ello supondría un mínimo de entre 10 y 11 m³/s y hasta 50 m³/s. Por otro lado, NMFS (2008) recomienda que el flujo de atracción mínimo debiera ser el 3% del caudal medio anual, lo que significaría un caudal de atracción en las escalas de 21 m³/s. Otro criterio aplicado en el Pacífico Noroeste, donde el salmón chinook y la trucha steelhead son especies comunes, es utilizar entre un 5-10% del denominado diseño de alto flujo y que corresponde al caudal excedido el 5% del tiempo durante el período migratorio. En ríos británicos, por su parte, se adopta un caudal que represente al menos el 5 % del promedio anual del caudal diario (Armstrong et al. 2010) y que para el río Santa Cruz sería aproximadamente 35 m³/s. Otro criterio que se apoya en la necesidad de compatibilizar el caudal turbinado con el de atracción es proporcionar al menos el 1% del caudal turbinado por la salida de la turbina más próxima lo que equivaldría en el caso de las obras del Santa Cruz a 21 m³/s en NK y entre 14 y 2,55 m³/s en JC. En casos, en la costa Atlántica el USFW (United States Fish and Wildlife Service) se ha propuesto en cambio considerar el 3-5% del flujo que emerge de las turbinas o bien que el caudal de llamada debe representar el 10% del caudal mínimo, lo que debiera generar un caudal de atracción en el orden de los 18 m³/s., valor que también se encuentra por encima de lo requerido por pliego.

Los caudales de atracción requeridos en las presas NK y JC serán, en todo caso, diferentes en función de los caudales erogados. En la presa NK el caudal erogado será de 2.100 m³/s por lo que el caudal de atracción mínimo no debería ser inferior a 21 m³/s, asumiendo la norma del 1% y de 65 m³/s para la norma del 5%. Por su parte en la presa JC los caudales máximos erogados oscilarán entre 1200 y 1400 m³/s durante 6 horas (horario nocturno). Para el caso de la erogación máxima el mínimo caudal de atracción debería ser entonces entre 12 y 14 m³/s, lo que duplica lo solicitado por pliego, pero para el caso de mínima erogación (255 m³/s) los 7 m³/s representan casi un 3% del caudal turbinado y cumpliendo razonablemente con la norma.

El efecto del ascenso y descenso diario del caudal y su influencia sobre los caudales de tracción deben ser considerados a partir de entender cuales son las características requeridas para las especies presentes en el río. Mientras los salmónidos son más proclives a ascender en horario diurno, las lampreas prefieren el nocturno. Los primeros ascienden el río a partir del verano y se cree que las lampreas lo hacen cuando el río ya se encuentra en estiaje. En otras palabras, los caudales de llamada requeridos deben ser compatibles con los ritmos estacionales y nictemerales de las especies. De acuerdo al régimen de turbinado, los sistemas deben proporcionar altos caudales durante los horarios de máxima demanda de energía con lo cual deben contar con sistemas auxiliares de provisión de agua que tengan la capacidad de incrementar apropiadamente el caudal durante los momentos de máxima erogación. Si el ascenso de la trucha steelhead y el salmón chinook tuviera lugar en momentos en que el turbinado es máximo, el caudal requerido por pliego sería insuficiente para asegurar un adecuado funcionamiento de la escala.

Este aspecto como otros del diseño de las escalas se encuentra en estudio y será detallado a partir de los avances en el proyecto ejecutivo y de los estudios adicionales sobre la ictiofauna.

4.7 CARACTERÍSTICAS DE LA ENTRADA Y FLUJO DE ATRACCIÓN

Las entradas a los pasos para peces representan posiblemente el aspecto más crítico, siendo por lo tanto necesario considerar: a) la localización de la entrada, b) forma y cantidad de agua que sale del paso (flujo de atracción); c) hidrología e hidrodinámica de las áreas adyacentes a las entradas (restitución) y d) flexibilidad en el manejo del caudal de atracción para acomodar las variaciones de los niveles de restitución. Las recomendaciones para el sistema de transferencia para salmónidos señalan que las entradas deben localizarse lo más cerca posible de la presa y evitar instalar las entradas aguas abajo a distancias excesivas ya que los salmónidos no suelen nadar río abajo en busca de pasajes alternativos. Es factible que la localización propuesta para la presa NK y que se encuentra a una distancia de 250 m de la presa no resulte la más apropiada y se recomienda que la misma se localice mucho más cerca de la salida de turbinas. Por otro lado, el actual diseño muestra que la entrada del sistema carece de un estanque inicial colector y que es importante al cumplir funciones de comunicación entre el sistema y el nivel de restitución y ser receptor del ingreso del flujo auxiliar o de colectores que llegan de entradas secundarias que podrán instalarse en el futuro. Este estanque debe ser de mayores dimensiones que los estanques normales de la escala.

Las entradas de los pasos para peces poseen un ángulo no especificado en la propuesta respecto a la línea de costa. Este ángulo, en todo caso, debe ser pequeño para aumentar la penetración del flujo de llamada. A mayor ángulo respecto a la línea de costa el flujo de atracción pierde eficacia y por lo tanto nunca debe superar los 30 °, particularmente durante caudales altos. Si la entrada se ubicara lateralmente a la salida de las turbinas con el fin de estar lo más cerca posible de la presa, lo ideal es que la misma sea paralela a la línea de la costa para mejorar la eficiencia del flujo de atracción. Las entradas deben tener previsto contar con sistemas de iluminación dado que el chinook y la trucha steelhead muestran preferencia por entradas iluminadas ante bajas condiciones de luz. La presencia de remolinos o salto hidráulicos son factores que reducen la eficiencia de atracción, mientras que la topografía de la zona de restitución también afecta el comportamiento de la líneas de flujo.

De este modo, para definir la localización de las entradas resulta fundamental conocer cómo se distribuye el flujo de atracción en el entorno y como serían las condiciones hidrodinámicas en la zona de restitución bajo diferentes condiciones hidrológicas debido a la operación de la presa o bien bajo diferentes condiciones de operación de las turbinas.

Es fundamental evitar que la variación de nivel genere una diferencia de nivel mayor a 30 cm si el nivel del agua desciende en la zona de restitución siendo siempre preferible que el agua fluya en forma de corriente descendente (“streaming”) y no como salto a su salida. Ello permite una mejor penetración del flujo de llamada que se expande sobre la zona de restitución en forma horizontal y superficial reduciendo la pérdida de energía.

Por otro lado, es necesario evaluar mediante modelo a escala que tipo de estructura y dimensión de salida resulta la más adecuada para maximizar la penetración del flujo de atracción. La presencia de compuertas móviles previsto en la propuesta de la UTE son un elemento sin duda necesario en virtud de las oscilaciones esperadas en las zonas de restitución. El documento de la UTE propone generar una rampa de geometría semi-circular de baja pendiente con la función de distribuir uniformemente el flujo de atracción. Este diseño podría ser mejorado, reemplazando la losa por una rampa de piedra con pendiente 1:1,5 y como máximo 1:2. El flujo de atracción no debe ser inferior a 2 m/s y no mayor a 2,5 m/s y en todo caso duplicar la velocidad del agua a la salida de las turbinas. Un flujo de 2,4 m/s es adecuado tanto para adultos migratorios de salmón chinook y steelhead, pero prohibitivo para la lamprea. En la presa Boneville del río Columbia se observó que esta especie mejoraba su ingreso al sistema cuando la velocidad se reducía a solo 1,2 m/s y la altura del salto a 0,15 cm (Johnson et al. 2012). De tal modo, las condiciones necesarias para esta especie y los salmónidos serían poco compatibles para transferirlas ambas en forma simultánea.

Tal como se plantea en el documento de la UTE el sistema de escalas trabajará incorporando flujos auxiliares. Este flujo adicional debe ser siempre inferior a 2 m/s y salir a la antecámara o pileta colectora que conecta con el río para conformar así el flujo de atracción. Es posible además mejorar la atracción e ingreso al sistema de transferencia si aguas abajo de las turbinas se instala un sistema de cortinas flotantes que impida que los peces se aproximen a las turbinas y sean conducidos a la escala.

4.8 ESTRUCTURAS COMPLEMENTARIAS

El sistema de transferencia debería ser equipado con ventanas de observación y provisto de cámaras infrarrojas, antenas detectoras de marcas magnéticas y contadores de peces para facilitar la identificación, medición y estimar la abundancia de los peces que utilizan el paso. Los contadores y las antenas deben ubicarse en la zona baja, media y alta de la escala con el fin de poder determinar el tiempo requerido para atravesar la escala y detectar los movimientos de los peces dentro del sistema.

Por otro lado, es vital disponer de un pequeño laboratorio localizado en la salida de las escalas y que permita realizar trabajos de muestreo sobre los peces que atraviesan las mismas. Ello implica contar con un mecanismo que derive los peces hacia estas instalaciones cuando así se requiera y luego permitir que los peces puedan ser redireccionados hacia el embalse tras haber sido examinados, marcados, etc. El laboratorio debe contar con dimensiones tales que exista un espacio mínimo para realizar muestreos incluyendo capacidad para computadoras, lupas, ictiómetros, una heladera, aire acondicionado, balanza y un estanque de dimensiones adecuadas donde sea posible examinar los peces para detectar la presencia de marcas previas, estado sanitario, sexo y estadio de maduración, o bien también proceder a su marcado. Externamente al laboratorio y comunicado mediante un canal debe existir una pileta para facilitar la recuperación de los peces previo a su liberación al embalse. Es muy importante remarcar que la evaluación de los sistemas de transferencia es un aspecto clave para determinar el desempeño de los mismos y que no puede realizarse si no se dispone de este tipo de facilidades..

4.9 EVALUACIÓN GLOBAL DEL DISEÑO DE LOS PASOS PARA PECES

Dado la existencia de especies anádromas en el río Santa Cruz es altamente deseable preservar los ciclos de vida de las mismas para lo cual se requiere asegurar que sus migraciones ascendentes y descendentes puedan completarse apropiadamente. Sin embargo, la propuesta de utilizar un sistema de escala para permitir únicamente el ascenso de los peces, más allá de sus características técnicas, resulta insuficiente sino se instalan sistemas o alternativas que faciliten realizar las migraciones descendentes. Ello no fue previsto hasta el momento. Con relación a las escalas propuestas de vertedero sumergido, las mismas funcionan adecuadamente en ríos donde se espera tener niveles de bajo caudal en cierto momento del año y con peces que nadan cerca de la superficie. Se trata de sistemas recomendados para embalses con escasas oscilaciones, caso contrario su funcionamiento es complicado de sostener y se deben proponer sistemas alternativos.

Para permitir el ascenso de los peces se detectan limitaciones que podrían condicionar el ascenso de lampreas e incluso salmónidos de bajo porte como son los preadultos de steelhead. Tal cual fue explicado en la Línea de Base, tras la primera migración al mar los smolts de 2-3 años retornan a los pocos meses al agua dulce para iniciar su primera migración, no siendo sus tallas mayores a 30-45 cm. Las escalas presentan para estos ejemplares y lampreas diferencias de niveles entre estanques que se encuentran por encima de lo recomendado incluso duplicando el desnivel que deberían tener. Las escalas carecen asimismo de estanques de descanso y la capacidad de disipar energía es inferior a la requerida. También se observan dudas respecto al diseño de entrada y a la localización de la misma en la zona de restitución. Independiente de qué sistema se aplique resulta fundamental que el diseño final se base y justifique a partir de simulaciones obtenidas en modelos a escala sobre comportamiento de los flujos en los estanques y la zona de restitución. Se detecta asimismo que no se ha previsto la construcción de estructuras auxiliares para evaluar el desempeño de las escalas una vez puestas en marcha, lo que dificultará poder evaluar luego su funcionamiento y realizar las mejoras necesarias.

Los documentos desarrollados en el marco del proyecto ejecutivo, hasta el momento, ponen énfasis en la necesidad de pasar los salmónidos pero no las especies nativas como la lamprea. La lamprea, que es un agnatho y por lo tanto difiere en varios aspectos de los peces, posee un ciclo biológico complejo que aún es poco comprendido en el río Santa Cruz, pero que al igual que el de los salmónidos, requiere cumplir con migraciones ascendentes de los adultos y descendentes de sus juveniles. Sin embargo, sus características y capacidades natatorias difieren significativamente, dado que los primeros se desplazan por la parte superior de la columna de agua y poseen actividad diurna mientras trasponen las presas, la lamprea se desplaza más cerca del fondo.

Existen numerosos estudios que demuestran que los pasos para peces convencionales que se utilizan para salmónidos no son adecuados para poder transferir lampreas, si bien la información disponible se focaliza en lampreas del hemisferio norte. Ello ha sido documentado para el caso de la lamprea del Pacífico (Moser et al. 2010; Keefer et al. 2012). Los estudios realizados en la cuenca del río Columbia sobre la lamprea (*Entosphenus tridentatus*) demuestran que la eficiencia de pasaje fue del 50% aproximadamente (Keefer et al. 2012). Otros estudios en esta cuenca demuestran que la eficiencia de pasaje fue de casi el 50% pero con escalas que presentan orificios en los vertederos (Wills 2014). En dicha cuenca asimismo el pasaje de lamprea demostró ser más eficiente para pasos con ranuras verticales. Se concluye así que los sistemas de escala propuestos con vertedero sumergido como única opción para asegurar las migraciones ascendentes en el río Santa Cruz no serán adecuados para el pasaje de la lamprea.

Por su parte, Foulds y Lucas (2013) estudiando el paso de la lamprea europea (*Lampetra fluviatilis*) en Inglaterra señalan que los sistemas de tanques escalonados presentaron una escasa capacidad de atracción del 43% y una tasa de transferencia del 5%, mientras que para un sistema tipo Denil la capacidad de atracción fue del 90% pero la tasa de transferencia fue casi nula. Un aspecto fundamental por el cual los peces como las lampreas exhiben dificultades para superar este tipo de sistemas y otros usuales en salmónidos es que los mismos poseen una muy baja velocidad de punta y por lo tanto son muy susceptibles a las condiciones hidráulicas que poseen estos sistemas. Russon y Kemp 2011 estimaron que la lamprea europea alcanza entre 1,7 y 2,2 m/s, marcas muy inferiores a los que pueden desarrollar los salmónidos. Keefer et al. (2012) señalan que las velocidades mayores a 1,5-2 m/s dificultan el uso de los sistemas cuando estos son diseñados para salmónidos.

Las lampreas del Atlántico Norte (*Petromyzon marinimus*) por ejemplo, poseen velocidades de punta de 1,8 a 2,1 m/s (Bell 1991), mientras que la estimación de la velocidad crítica, la cual se aproxima a la velocidad de natación sostenida sin fatiga, sería de 0,6 m/s. Estos valores están muy por debajo de la velocidad que tendrá el agua en ciertos sectores de la escala y más aún en los desniveles entre estanques, que incluso es limitante con los estándares recomendados para salmónidos. En el caso del sistema propuesto, estas velocidades de natación estarían muy por debajo de los valores previstos en los vertederos entre estanques para desniveles de 0,6 m y en el límite para desniveles de 0,3 m. Las limitaciones observadas en los pasos de salmónidos se relacionan no solo con las velocidades dentro del sistema sino con la propia estructura dado que usualmente las escalas que exhiben giros de más de 90° son menos eficientes para esta especie. Por ejemplo para el caso de la lamprea europea (*Lampetra fluviatilis*) los sistemas de tanques escalonados presentaron una escasa capacidad de atracción del 43% y una tasa de transferencia del 5%, mientras que para un sistema tipo Denil la capacidad de atracción fue del 90% pero la tasa de transferencia fue casi nula.

En todo caso, si no se dispone de pasos especiales para la lamprea, la mejor solución sería tener pasos de ranuras verticales que permite acomodar tanto el pasaje de salmónidos como de esta especie. Estas alternativas deben ser escogidas luego de que se verifiquen en laboratorio las características hidrodinámicas de estas escalas bajo diferentes opciones de diseño y caudal. El problema de pasar salmónidos y lampreas no es nuevo y el mejor diseño debe surgir de compatibilizar las necesidades de estas especies, valiéndose de un modelo hidrológico a escala que simulen en 3 dimensiones (modelos CFD) las condiciones que se esperan encontrar en las escalas y aguas abajo de las salidas de turbinas y de ese modo definir la localización más apropiada.

Esta tarea resulta dinámica en el tiempo, situación que hace que el ajuste de los diseños de las escalas se lleve a cabo a medida que avanza el proyecto y en la medida que se cuente con mayor información acerca de las especies, especialmente respecto a las zonas de desove y cría y aspectos migratorios. De esta manera no solo se podrá hacer más eficiente el pasaje de la ictiofauna a través de las presas sino que se podrá determinar si podrán llevarse a cabo los ciclos reproductivos aguas arriba de estas.

4.10 SALIDAS DE LAS ESCALAS

La instalación de una cámara de acumulación tal como considera el diseño de la UTE debería evitarse a fin de favorecer la salida de los peces lo más rápidamente posible al embalse y se debe analizar si es posible su reemplazo por un canal descendente. Se observa que las salidas en ambas presas, una vez llenado el embalse se encontrarán muy cerca de la toma de la turbina más próxima. Esta salida debiera ubicarse unos metros más hacia el embalse asegurando que la zona de salida tenga una ligera velocidad de corriente para facilitar la orientación rápida de los peces.

4.11 CONCLUSIÓN

La Tabla 4-2 presenta una evaluación general del funcionamiento de las escalas basado en las opciones presentadas y de las especies migratorias que hasta el momento se han detectado en el sector medio y alto del río Santa Cruz. Estos resultados indican que las escalas propuestas siguiendo los requerimientos del pliego poseen limitaciones estructurales y funcionales y por lo tanto tendrán una baja eficiencia para salmónidos y nula para lampreas y en todo caso su diseño es incompleto ya que no se prevé instalaciones para las migraciones descendentes. Ello indica que se deben rediseñar los sistemas de transferencia de peces utilizando modelos a escala y considerar obligatoriamente alternativas de sistemas que permitan la transferencia aguas debajo de juveniles y adultos para evitar el pasaje por turbinas.

Tabla 4-2. Valoración del desempeño de las escalas propuestas de acuerdo a las especies migratorias detectadas. Los números entre paréntesis indican la preferencia de alternativa propuesta

Aspecto	Evaluación	Alternativas
Permitir migraciones ascendentes de salmónidos anádromos	Desempeño esperado moderado al desviarse parcialmente de las mejores prácticas	Rediseño de los pasos
Permitir migraciones descendente de salmónidos anádromos	Desempeño esperado nulo al no considerarse sistemas de descenso	Uso de vertederos (3) Uso de turbinas apropiadas (2) Instalación de colectores superficiales, y by-pass (1)
Permitir migraciones ascendentes de especies nativas anádromas	Desempeño pobre al no considerarse las prácticas convencionales para especies de baja capacidad natatoria	Posibilidad de rediseño de los pasos (1) Construcción de pasos específicos para lampreas (2)
Permitir migraciones descendentes de especies nativas anádromas	Desempeño esperado nulo al no considerarse sistemas de descenso	Uso de vertederos (3) Uso de turbinas apropiadas (1) Instalación de colectores (2)

Como se mencionó anteriormente, la evaluación del diseño se formula sobre la información disponible, si bien éste se ha ido perfeccionando a medida que avanza el proyecto ejecutivo. Actualmente, se está trabajando sobre mayores ajustes en función de la introducción en el diseño de mayor información respecto de las necesidades de cada especie, aspecto que también debe complementarse con una serie de estudios adicionales previstos en este EIA.

En este sentido, como se desprende del presente punto del informe uno de los factores más importante que afectan a la fauna íctica se encuentra relacionados con la posibilidad de que sufran daños o incluso muerte de ejemplares por su pasaje a través de las turbinas. En este sentido se considera apropiada la aplicación de sistemas capaces de minimizar estos efectos. Los mismos se detallan a continuación, indicando, cuando corresponde, las ventajas / desventajas de cada uno:

- Pantallas sumergidas asociadas a canales colectores: Este sistema consiste en una pantalla que se instala en forma oblicua frente a las tomas de turbinas de manera que obliga a los peces a dirigirse a un conducto vertical que debe transportar un 4% del caudal que pasa por la turbina y desembocar en un canal que transporta los peces aguas abajo. Este sistema es costoso de instalar y de mantener y requiere que su diseño asegure que las condiciones hidrodinámicas frente a la pantalla no generen una respuesta de evitación por parte de los peces.
- Vertederos que permitan el pasaje de agua por abajo: Se trata de sistemas con compuertas que abren desde el fondo permitiendo que los peces puedan pasar hacia aguas abajo. La desventaja de este método es la posibilidad que los peces mueran por sobresaturación gaseosa, así como daños por turbulencia y presión.
- Colectores superficiales sobre turbinas: Estos sistema permiten la transferencia directa de peces hacia aguas abajo y se instalan a lo ancho de la zona de turbinas. Consisten en un canal con entradas individuales por encima de cada turbina y que colectan los peces que se aproximan a ellas permitiendo que los mismos ingresen al canal a través de compuertas reguladas. Por lo general estas estructuras utilizan un caudal entre el 2-4% del disponible para ser turbinado. Johnson et al. (2006) han determinado que el uso de estos canales posee una eficiencia de pasaje de juveniles de steelhead cercana al 80% y usualmente requieren que se les proporcionen entre 2 y 5% de la descarga que utilizan las turbinas. También se consideran apropiados para adultos de steelhead (Khan et al. 2013). Su eficiencia sería mayor para smolt de steelhead que para chinook dado que estos tienden a moverse en zonas más profundas cuando migran aguas abajo
- Colectores superficiales (by-pass de superficie): Poseen su entrada en las zonas donde se observan acumulaciones de funcionan con eficiencia variable según el caso. Larinier y Travade (1999) mencionan una eficiencia entre 60 y 80 % en ríos con presas de baja altura en Francia, pero remarcan que la misma está sujeta a su localización y condiciones hidrológicas apropiadas en las entradas. Por su parte, Hanson (1999) observó una eficiencia cercana al 80 % para smolts del salmón del Atlántico, pero Adams et al. (2011) señalan que la eficiencia en una de las presas de la cuenca del Columbia se ubicó entre 39-45 % para smolts de chinook y steelhead. La instalación de estos sistemas requiere un análisis profundo de las condiciones hidráulicas que se generan frente a la entrada de los colectores y que está también asociado a la operación de las turbinas. Por otro lado, la velocidad de entrada en los colectores debe ser un 10% mayor que en el área circundante y dentro del conducto ser de 1,8 a 3,6 m/s, Su salida no debe transportar peces a más de 7,7 m/s y desembocar en áreas del río sin turbulencia o remolinos y con velocidades mayores a 4 m/s. Todo ello exige una cuidadosa planificación de su diseño de funcionamiento.
- Colectores superficiales sobre vertederos: Este sistema no tendría aplicabilidad si el uso de los vertederos fuera muy limitado.
- Transporte en tanques: Los juveniles pueden ser obligados a migrar por un canal y acumularse en tanques que luego son izados y transportados en camión para liberar los peces aguas abajo. Si el desove fuera factible aguas arriba de NK y los juveniles migraran luego río abajo, los peces deberían ser transportados más de 100 km hasta ser liberados aguas abajo de la presa JC. Estos tanques deben poder acomodar 1 kg de pescado en 8, 4 litros de agua y estar equipados con sistemas de aireación.

- Barreras comportamentales: Se basan en influir sobre los aspectos sensoriales, visuales, auditivos, etc. de los peces. De tal modo, existen barreras eléctricas, de burbujas, luminosas, etc. cuya eficiencia es aún poco clara y en todo caso serán medidas complementarias que ayuden a desviar la trayectoria de los peces hacia los canales colectores.
- Instalación de turbinas adaptadas para reducir la mortalidad. Se trata de turbinas con diseños dirigidos a reducir los daños mecánicos y la cavitación

4.12 BIBLIOGRAFÍA

ARMSTRONG, G. S., M. W. APRAHAMIAN, G. A. FEWINGS, P. J. GOUGH, N. A. READER Y P. V. VARALLO. 2010. Environment Agency Fish Pass Manual: Guidance Notes On The Legislation, Selection and Approval Of Fish Passes In England And Wales. Document – GEHO 0910 BTBP-E-E.

BEACH, M. H. 1984. Fish passage design-criteria for the design and approval of fish passes and other structure to facilitate the passage of migratory fishes in rivers. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowestoft. Fisheries Research Technical Report 78, 45 pp.

BELL, M. C. 1991. Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. U. S. Army Corps of Engineers, North Pacific Division, 350 pp.

FOULDS, W. L., M. C. Lucas. 2012. Extreme inefficiency of two conventional, technical fishways used by European river lamprey (*Lampetra fluviatilis*). Ecological Engineering, 58: 423-433.

KEEFER, M. L., T. C. CLABOUGH, M. A. JEPSON, E. L. JOHNSON, C. T. BOGGS Y C. C. CAUDILL. 2012 Adult Lamprey passage: data syntethesis and fishway improvement prioritization tools. Department of Fish and Wildlife Sciences College of Natural Resources, University of Idaho, Technical Report 2012-8.

KHAN, F., I. M. ROYER, G. E. JOHNSON Y S. C. TACKLEY. 2013. Sluiceway operations for adult Steelhead downstream passage at The Dalles Dam, Columbia River, USA. North American Journal of Fisheries Management, 35: 1013-1023.

LARINIER, M. 2002. Location of fishways. Pages 39-53 en Fishways: biological basis, desgin criteria and monitoring. Bull. Fr. Peche Piscic. 364, FAO, CSP, Cemagref

MOSER, M. L., M. L. KEEFER, H. T. PENNINGTON, D. A. OGDEN Y J. E. SIMONSON. 2010. Development of Pacific lamprey fishways at a hydropower dam. Fisheries Management and Ecology, 18: 190-200

RUSSON, I.J., P. S. KEMP. 2011. Experimental quantification of the swimming performance and behaviour of spawning run river lamprey *Lampetra fluviatilis* and European eel *Anguilla anguilla*. Journal of Fish Biology, 78: 1965–1975.

WILLS, D.A. 2014. 2011 Reconnaissance Level Assessment of Fish Ladders at The Dalles, John Day and McNary Dams for Upstream Passage of Adult Pacific Lamprey. U.S. Fish and Wildlife Service, Columbia River Fisheries Program Office, Vancouver, WA. 85 pp. www.fws.gov/columbiariver/publications.html