

APROVECHAMIENTOS HIDROELÉCTRICOS DEL RÍO SANTA CRUZ  
ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

**CAPÍTULO 5 – IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS**

**CAPÍTULO 5.7 HIDROLOGÍA E HIDROSEDIMENTOLOGÍA**

**INDICE**

5.7.1	IMPACTO DE LOS CAMBIOS REALIZADOS EN EL PROYECTO .....	4
5.7.2	RÉGIMEN HIDROSEDIMENTOLÓGICO .....	6
5.7.2.1	Régimen de Caudales en Operación .....	6
5.7.2.2	Evolución Geomorfológica con Obras.....	11
5.7.2.3	Agradación en Tramos Superiores.....	15
5.7.2.4	Erosión Aguas abajo de las Presas .....	17
5.7.2.5	Dinámica de Interacción Fluvialacustre.....	20
5.7.2.6	Impacto sobre la Dinámica de Interacción Estuarina.....	28
5.7.2.6.1	Cambios en el Régimen de Caudales Fluviales.....	28
5.7.2.6.2	Cambios en la Dinámica Hidrosedimentológica Actual .....	34
5.7.3	DINÁMICA TRANSICIONAL (DESVÍO Y LLENADO).....	34
5.7.3.1	Desvío	35
5.7.3.2	Llenado	39
5.7.4	CARACTERIZACIÓN Y TIPOLOGÍA DE LOS IMPACTOS ESPERADOS .....	40
5.7.4.1	Etapa de Construcción .....	40
5.7.4.2	Etapa de Operación .....	41



El presente capítulo se centra en el análisis de los impactos potenciales relacionados con la interacción de las presas con el régimen hidrosedimentológico natural del Río Santa Cruz.

Específicamente, la temática objeto del análisis de impactos consiste en la evaluación de la interacción de los forzantes hidro-climáticos con el medio, como consecuencia de la construcción, puesta en funcionamiento y operación de las presas objeto del proyecto. Dichos forzantes operan sobre un territorio moldeándolo y definiendo un conjunto de servicios hidro-ecológicos a nivel de cuenca y en particular del corredor fluvial. La ejecución de intervenciones estructurales implica cambios (espacio-temporales) de dichos forzantes y por ende impactos potenciales sobre todo el espectro de geoformas y hábitats naturales. En particular, la ejecución de obras que implican un represamiento del agua, como las presas, genera un impacto puntual singular alterando la dinámica natural del corredor fluvial comprensiva no sólo de flujos líquidos y sólidos a lo largo del río, sino también del vital traslado de nutrientes y organismos vivos hacia aguas arriba y aguas abajo del sistema.

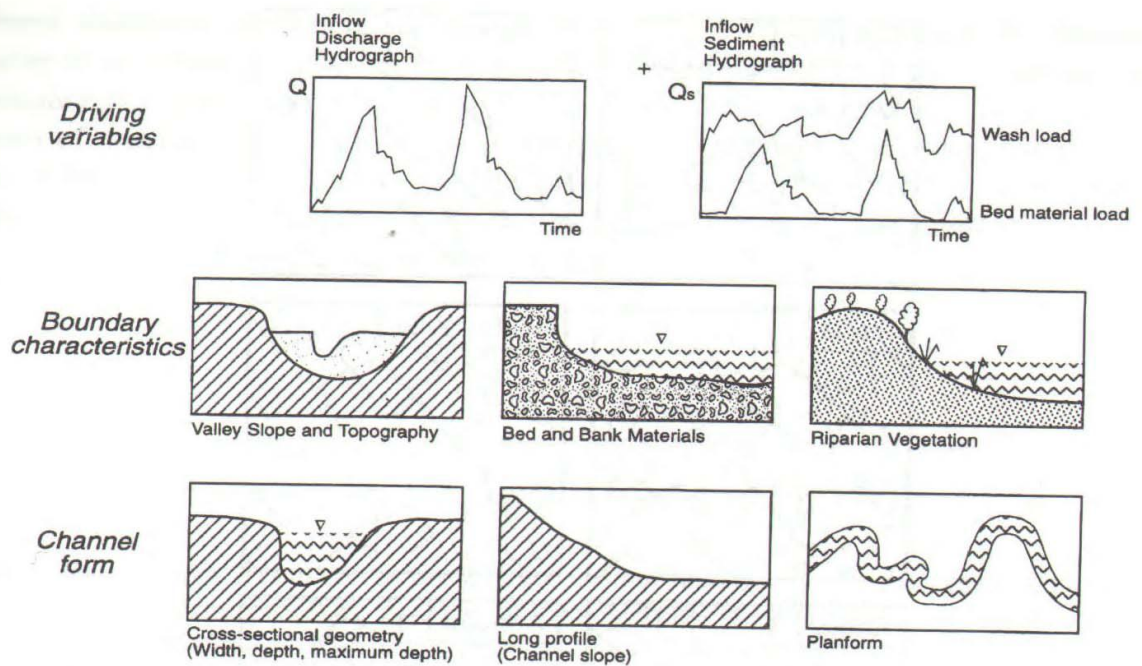
Esto conlleva al planteo que el análisis de impactos no debe fragmentarse en sus diversas disciplinas, sino que es el corredor fluvial en su conjunto quien se verá impactado ante el desarrollo y operación de las obras. De allí la importancia, tal como se plantea en el Plan de Gestión Ambiental, de disponer de herramientas de análisis y monitoreo que respeten este concepto de continuidad en el tratamiento del corredor fluvial.

El análisis de impactos se realizó en base a la siguiente perspectiva conceptual:

- Se plantea un concepto de cuenca en el tratamiento de la gestión ambiental en el entendimiento que el curso fluvial representa el eje estructurante de la misma en cuanto a dinámica de acople y transferencia con el paisaje circundante. Esto se traduce en diversos grados de acople con los ambientes naturales; a saber:
  - Acople con dos ambientes naturales de cabecera de singular importancia: el sistema lacustre de los lagos Argentino y Viedma aguas arriba, el estuario con el Mar Argentino aguas abajo, y el complejo planicie de inundación y diversas terrazas glacifluviales a lo largo del curso;
  - Acople del curso con el sistema de planicies y terrazas circundantes, que se expresa mediante procesos de dinámica vertical y lateral.
- Un abordaje integral que analice la interacción hidroclimática-geomorfológica (paisaje) como condicionante del desarrollo y preservación de los hábitats y especies de la cuenca.

- Lo anterior trasunta en la necesidad de proyectar todo el análisis de impactos, y de la consecuente gestión, en todo el corredor fluvial del Río Santa Cruz, desde su embocadura hacia el estuario.
- Se distinguen tres escenarios temporales, en términos de análisis del impacto:
  - i) Etapa de construcción, definida por el desvío del río como evento principal; escala de años
  - ii) Etapa de puesta en marcha, definida por el llenado del embalse; escala temporal meses
  - iii) Etapa de operación, definida por el control de caudales y generación de energía, en cada uno de los aprovechamientos; escala temporal de décadas

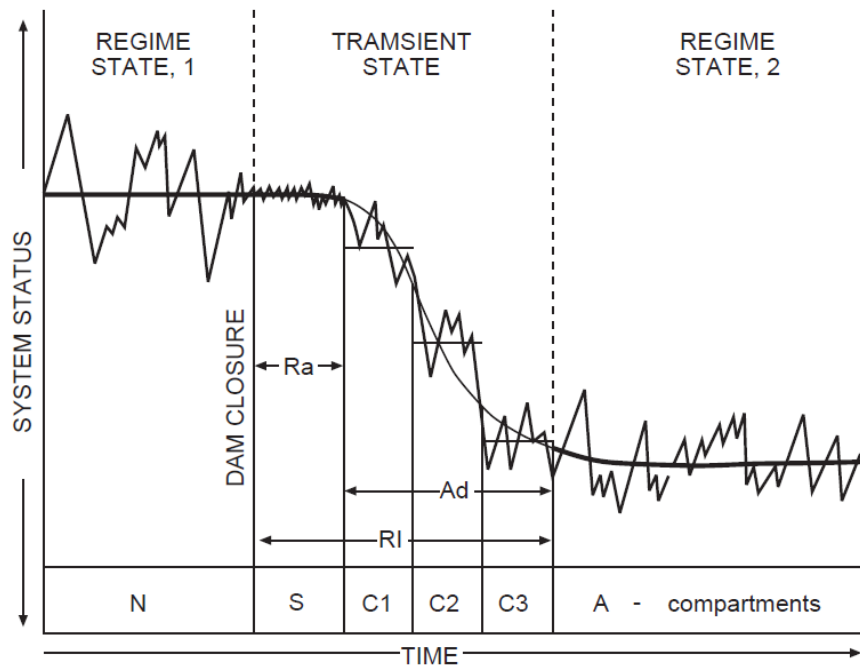
A nivel de gestión ambiental, para todo el horizonte temporal de análisis, se propone la utilización de un concepto de caudal geomorfológico como extensión del concepto de caudal ecológico. El caudal geomorfológico (también extensivo del concepto de caudal dominante) es aquel caudal que sintetiza el régimen de caudales líquidos y sólidos responsables de los procesos formativos del cauce y, por ende, forzante básico de la sostenibilidad de hábitats "in-stream" y en planicies de inundación. Este concepto se desprende de los principios de evolución morfológica que consigna que cambios en los regímenes de caudales líquidos y sólidos producen una respuesta (ajustes) a largo plazo en las características del curso (secciones, pendientes, planformas) en función de condiciones de borde y controles fisiográficos, geológicos y de características sedimentológicas del cauce, márgenes y planicies y terrazas de inundación.



**Figura 1: Modelo conceptual de evolución geomorfológica**

La evaluación de impactos que sigue a continuación se lleva a cabo recurriendo al análisis de los siguientes aspectos:

- Impactos en el régimen hidrosedimentológico como consecuencia de la implantación de las obras
- Modificaciones en las condiciones naturales de interacción y acople con las cabeceras del corredor fluvial: el sistema lacustre y el estuario.
- Impactos transicionales: es decir aquellos derivados por impactos en una escala temporal de transición hacia el estado final de nuevo equilibrio. Tal como describe conceptualmente la siguiente figura (Petts and Gurnell, 2005), el sistema fluvial ajusta su régimen pasando por una serie de estados transitorios tales como un período de reacción ( $R_a$ ) y un período de ajuste ( $A_d$ ), cuyo monitoreo tiene una importancia capital en la calidad del nuevo estado de régimen.



**Figura 2: Secuencia temporal de cambios luego del cierre de presas (Fuente: Petts and Gurnell, 2005)**

- Impactos a nivel de ciclo hidrológico: es decir aquellos relacionados con modificaciones de flujos a nivel de ciclo hidrológico como ser cambios en los términos de evaporación, infiltración e interacción del agua superficial con el medio subterráneo.

### 5.7.1 IMPACTO DE LOS CAMBIOS REALIZADOS EN EL PROYECTO

Este apartado analiza los impactos desde la perspectiva del proyecto de ingeniería y de los cambios originados en el mismo.

**Presas Néstor Kirchner**

<b>Cambio</b>	<b>Objeto</b>	<b>Observaciones</b>
Reducción de nivel de embalse (178.9m a 176.5m)	Evita remanso sobre Lago Argentino en operación normal y extraordinaria	El apartado específico sobre desacople confirma el impacto positivo que traerá aparejada la reducción en el nivel de operación.
Aumento de capacidad descargador de fondo y cantidad de descargadores (180m <sup>3</sup> /s a 700m <sup>3</sup> /s) - (2 a 4)	Disponer de un mayor espectro de caudales para materializar un caudal ecológico y mayor flexibilidad de operación	Deberá verificarse el patrón o régimen de caudales a erogar durante el llenado mediante los análisis de modelación y estadísticos que se lleven a cabo.
Reducción del número de turbinas (6 a 5)	Disminuir la capacidad de erogación de caudales pico (2100m <sup>3</sup> /s a 1800m <sup>3</sup> /s) Funcionamiento empuntado	Menor potencial erosivo aguas abajo Oportunamente deberá especificarse y analizarse la rampa de descarga de caudales a los efectos de evitar fluctuaciones de niveles aguas abajo no deseadas
Cambios en la escala de peces	Aumento de caudal de atracción	Se deberá analizar en conjunto con dinámica migratoria de especies.

## Presa Jorge Cepernic

Cambio	Objeto	Observaciones
Se eleva el nivel del embalse para compensar la reducción de nivel de operación en NK	Aumentar la capacidad de generación energética para compensar NK Revisión de altura ola (disminuyó) que permitió disponer de una menor revancha y por ende de un mayor nivel operativo Necesidad de disponer de un mayor nivel de acople con el canal de restitución de NK.	Se extiende el remanso del embalse y por ende aumenta la afectación del tramo fluvial entre ambas presas, evitando la posibilidad de sectores del río con bajo o nulo caudal aguas abajo de NK.
Aumento de capacidad descargador de fondo y de la cantidad de descargadores (180m <sup>3</sup> /s a 700m <sup>3</sup> /s) - (2 a 6)	Disponer de un mayor espectro de caudales para materializar un caudal ecológico	Deberá verificarse el patrón o régimen de caudales a erogar durante el llenado mediante los análisis de modelación y estadísticos que se lleven a cabo.
Reducción del número de turbinas (5 a 3)	Disminuir la capacidad de erogación de caudales pico. (2100m <sup>3</sup> /s a 1260m <sup>3</sup> /s) Cambio del tipo de operación (semi-punta a base)	Menor potencial erosivo aguas abajo.
Cambios en la escala de peces	Reubicación. Mayor caudal de atracción	Se deberá analizar en conjunto con dinámica migratoria de especies

Se concluye que todos los cambios introducidos al proyecto redundarán en una disminución de los impactos anteriormente identificados.

## 5.7.2 RÉGIMEN HIDROSEDIMENTOLÓGICO

### 5.7.2.1 Régimen de Caudales en Operación

En este punto se analizan el impacto asociado con la operación de ambas centrales, en particular se evalúan los cambios potenciales en el régimen de caudales en la etapa de operación. La puesta en operación de las obras, tal como se evalúa en el plano geomorfológico, generará la pérdida del corredor fluvial del río Santa Cruz desde la embocadura en el Lago Argentino hasta la descarga de la presa JC, con excepción de un pequeño tramo fluvial aguas arriba de la cola del embalse de la presa NK.



Por lo tanto, el análisis del impacto debe realizarse evaluando si la operación conjunta de ambas centrales genera cambios en el régimen de caudales en el único tramo fluvial que quedará inalterado aguas abajo de la presa JC, es decir si los caudales que serán descargados por la central tendrán cambios con relación al régimen natural de dicho tramo fluvial. La preservación del régimen fluvial quedará garantizada a partir de la preservación de los pulsos de caudales en términos de amplitud y desfase temporal.

De fundamental importancia en el análisis resulta la definición de la política de operación de las centrales:

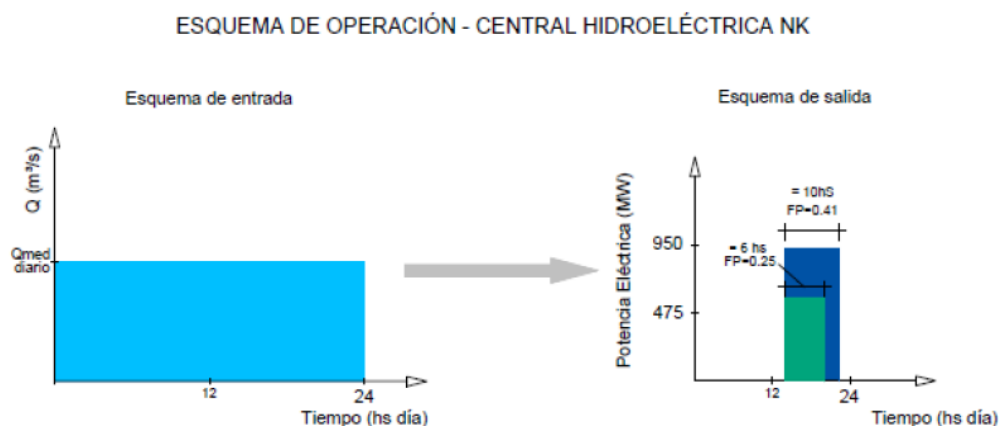
- **Central NK**

La central operará generando hasta el máximo de su potencia instalada de manera empuntada, variando el número de horas de generación según la disponibilidad de agua. Se parte de un factor de planta igual a 0.41, con 10 horas de operación, pudiéndose llegar a un factor de planta de 0.25 reduciéndose la energía despachada.

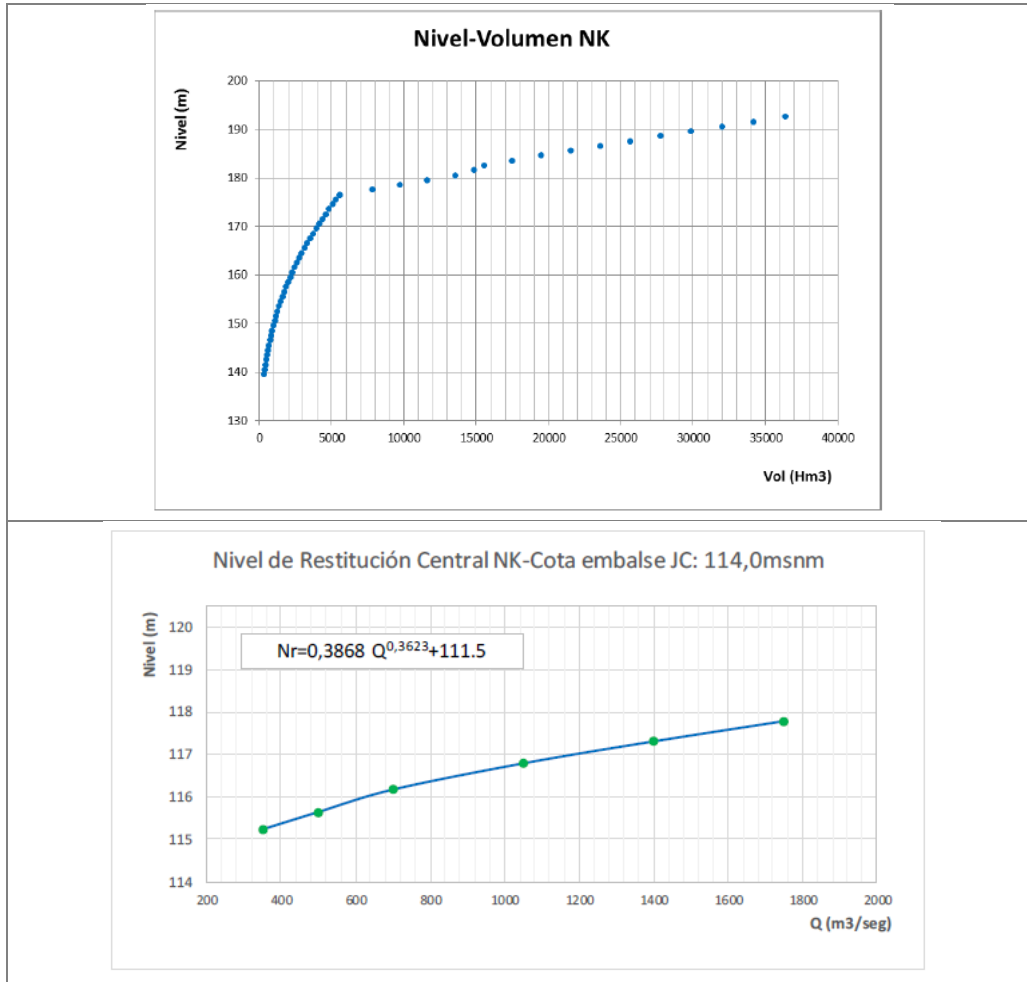
El nivel de operación máximo ordinario será de 176.5msnm.

La siguiente figura ilustra el concepto de despacho de la central.

La caracterización de caudales a la salida del Lago Argentino arroja las siguientes consideraciones:



Se presenta también a continuación la curva de restitución aguas abajo de la presa y la curva de volúmenes:



Los caudales ingresantes a la central se corresponderán con la serie de salida del Lago Argentino. Los caudales salientes se ajustarán a la operación en punta con un caudal máximo de turbinado de  $1800\text{m}^3/\text{s}$

En cuanto al impacto de modificación de caudales ingresantes al embalse de la presa NK se considera que habrá una pequeña pérdida de la laminación de caudales como consecuencia de la eliminación del tramo fluvial y su tránsito por una amplia superficie lacustre.

La operación en punta de la central dispara dos impactos potenciales específicos:

- Por un lado, el impacto asociado con la no erogación de caudal durante las horas en las que no se turбина. Bajo la configuración actual de las presas, en las que se ha elevado el nivel de operación en la presa JC, este impacto quedará compensado por la no existencia de tramo fluvial entre ambas centrales. Es decir que durante todo el tiempo el tramo entre ambas presas estará constituido por

un sistema lacustre que no recibirá agua durante una determinada cantidad de horas diarias;

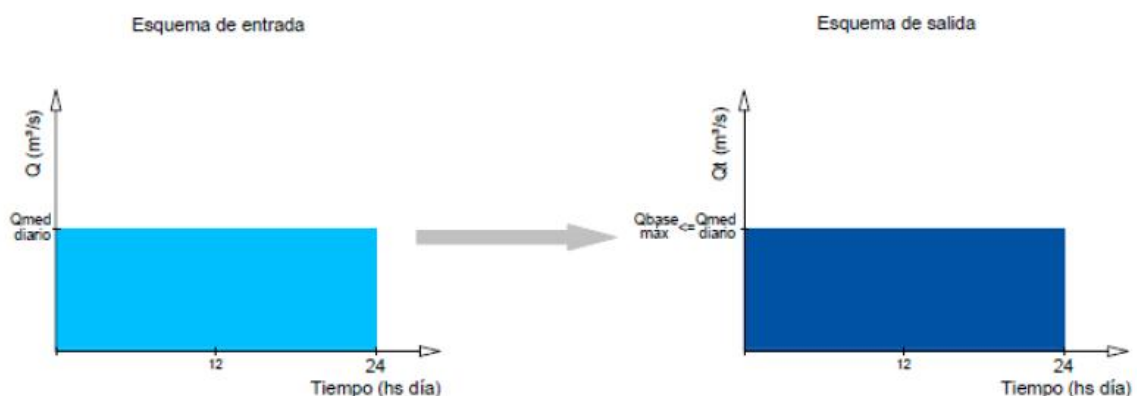
- Por otra parte, el despacho empuntado implicará la erogación de un caudal superior al ingresante, con un máximo (en operación ordinaria) igual a la capacidad instalada de la central ( $1800\text{m}^3/\text{s}$ ); este caudal, si se erogase durante un período de tiempo de 10 horas (establecido como objetivo de despacho), implicaría un volumen de  $65\text{Hm}^3$  suponiendo un caudal ingresando al embalse de  $750\text{m}^3/\text{s}$ .

### • Central JC

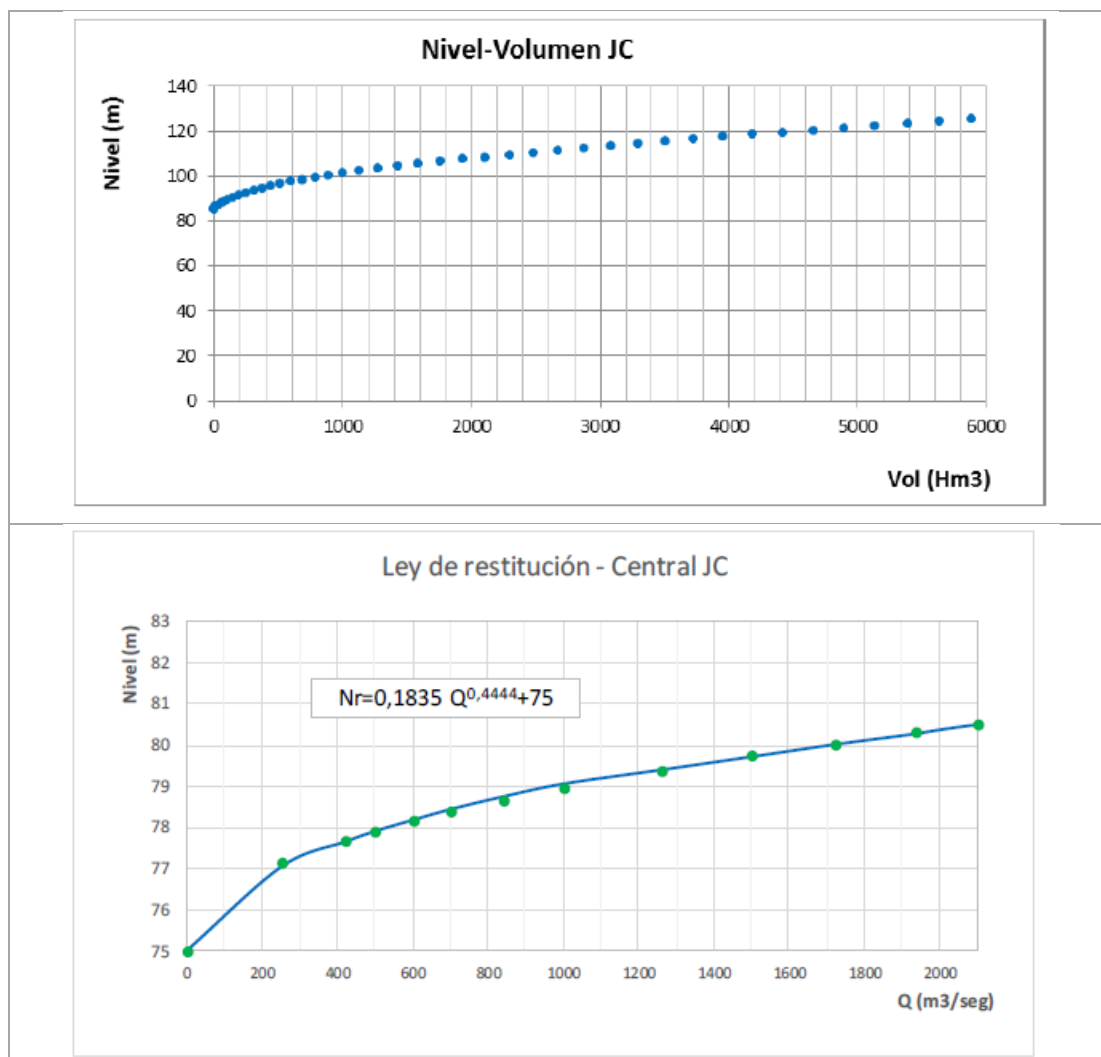
Esta central operará de base, siendo la premisa fundamental que los caudales turbinados respeten la serie de caudales ingresantes al embalse. Específicamente, el proyecto indica que se despachará la central en forma horaria sobre la base del caudal medio horario medido en Charles Fuhr, obtenido como el caudal medio diario dividido por 24.

El nivel máximo de operación ordinaria es de 114 msnm.

La siguiente figura ilustra el concepto de despacho de la central.



Se presenta también a continuación la curva de restitución aguas abajo de la presa y la curva de volúmenes:



La operación como central de base de la central disparará dos impactos potenciales específicos:

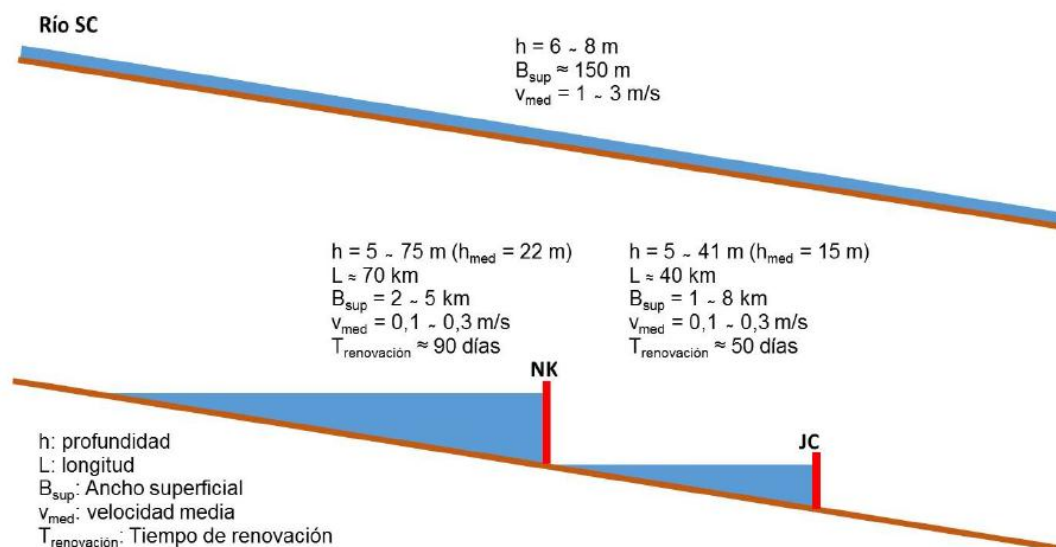
- Por un lado, su funcionamiento como embalse compensador generará una variación de nivel centimétrica en el mismo, tal como puede observarse de la curva de volúmenes y nivel para un volumen de compensación del orden de los 65Hm<sup>3</sup>;
- Aguas abajo de la presa, la premisa de operación garantizará la preservación de la serie de caudales que permitirá resguardar los rasgos fluviales del tramo de río que queda como tal;
- Se estima que la presencia de un espejo de agua a lo largo de aproximadamente 120km desde la embocadura hasta la descarga en la central generará cambios en

la amplitud de los pulsos hidráulicos y del tiempo de traslado de los mismos. Se estima que, de operarse sobre la base de los caudales en Charles Fuhr, la pérdida de atenuación y laminación en el tramo embalsado tenderá a mantener caudales algo más elevados aguas abajo de JC con relación a la situación natural, lo cual deberá evaluarse con una modelación específica .

- No se esperan impactos a nivel de variaciones intradiarias.

### 5.7.2.2 Evolución Geomorfológica con Obras

Con la generación de los dos embalses NK y JC, más de 180km del Río Santa Cruz (longitud total actual 378 Km) se transformarán en un cuerpo lacustre, el embalse de la presa JC llegará al pie de la presa Néstor Kirchner y no existirá entre ellos ningún tramo fluvial.



Esta alteración implicará la desaparición total de la morfometría fluvial y de la dinámica actual del río Santa Cruz en las secciones que serán inundadas ya que la instauración de estos ambientes establece la interrupción de los procesos de erosión y transporte que prevalecen en la actualidad en la sección que será inundada, y consecuentemente cancelarán de morfometría del curso fluvial.

La desaparición de la morfometría fluvial del río Santa Cruz involucra la pérdida del cauce y su llanura de inundación en el sector inundado y la afectación parcial de niveles de terrazas

glacifluviales inferiores e intermedios y secciones distales y marginales de pendientes labradas sobre sedimentitas de edad terciaria y acumulaciones vinculadas con movimientos de remoción en masa de diversa tipología.

La generación de los lagos artificiales dará origen a procesos lacustres litorales de erosión (formación de micro acantilados) y de acumulación (cordones lacustres, espigas, planicies inundadas), dependiendo su tipología de la configuración que adopte la inundación en su estado final en relación a la topografía, la naturaleza geológica del contacto con el lago y los vientos dominantes de mayor magnitud, que son los que provienen desde el Oeste (Malagnino, 2017).

No se espera que estos procesos tengan gran relevancia, ya que la inundación se desarrollará sobre superficies de niveles de terrazas glacifluviales de baja inclinación y para pequeñas fluctuaciones de nivel del lago se desarrollará una faja interlacustre extendida. Sin embargo, localmente en áreas de mayores pendientes se pueden generar microacantilados que podrían promover movimientos de remoción en masa locales cuando actúen sobre geoformas que actualmente derivan de anteriores movimientos de ese tipo.

Asimismo, la generación de los lagos interrumpirá los procesos de transporte de la carga de sedimentos que actualmente es trasladada hacia la cuenca inferior. En la situación actual los sedimentos que llegan a la sección del embalse NK provienen de tres fuentes prioritarias:

- Los aportes de la cuenca superior producidos por la dinámica lacustre
- los conducidos por los tributarios
- los incorporados por procesos de erosión lateral del río Santa Cruz

A partir de la formación de los lagos artificiales las tendencias de erosión, transporte y sedimentación se modificarán porque ambas presas se comportarán como trampas clásicas al recepcionar y retener los sedimentos que actualmente son transportados por el río Santa Cruz a lo largo del tramo que será inundado.

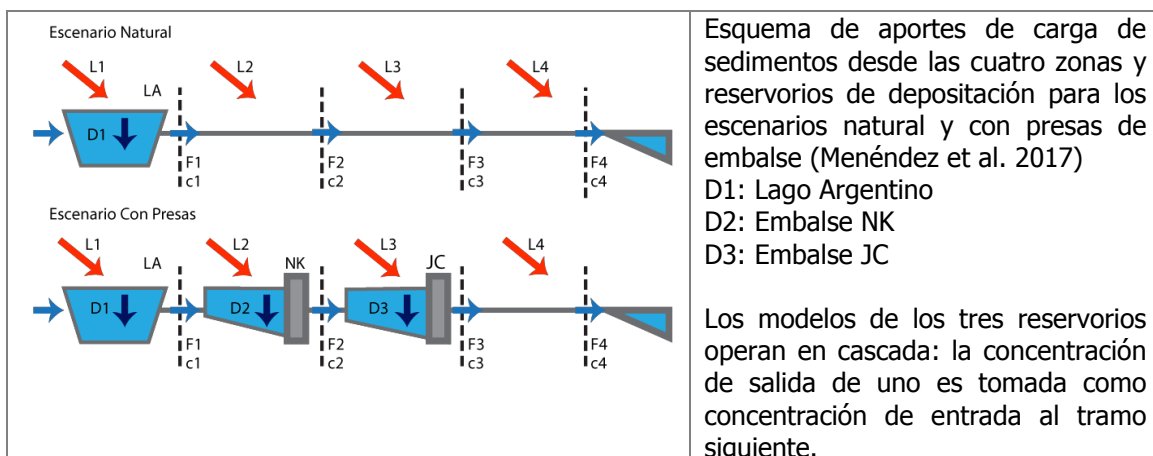
El aquietamiento producido por la presa propiciará la deposición de los sedimentos más gruesos transportados formando una cola o delta y la progresiva reducción de la turbulencia producirá que las partículas más finas se depositen aguas abajo del delta, incluso llegando hasta la presa, formando los depósitos de fondo.

Ante la inexistencia de información sobre los volúmenes sólidos transportados a esta sección, no puede establecerse la magnitud del depósito deltaico al que contribuyen los sedimentos

erodados en el sector superior y la carga clástica que proviene del río La Leona por deriva de playa.

Una aproximación a la cuantificación del proceso de sedimentación de embalses se ha realizado (Menéndez A. et al., 2017) mediante la implementación de un modelo cerodimensional de balance de masa de agua y sedimento fino para cada uno de los embalses, para determinar el volumen de material fino atrapado.

En ese trabajo, se ha considerado que los sólidos aportados a la sección de cierre tienen granulometría fina y son transportados en suspensión. Las presas atraparán parte de la fracción de sólidos sedimentables (limos y arcillas no coloidales) reduciendo en alguna medida la concentración de sedimento suspendido que alcanza el estuario, y en consecuencia la turbidez de las aguas.



En base a datos de turbidez del estuario relevados en diciembre de 2016 se adoptó un valor representativo de 8NTU a partir del cual se estableció un valor de SST de entre 8,1 y 22,1 mg/l y no contándose con información granulométrica de los sedimentos sedimentables, se asumió un diámetro medio  $d_{50} = 4 \mu\text{m}$ , con velocidad de caída de 1,2 m/día y valor crítico de velocidad de corte de deposición  $u*d = 0,8 \text{ cm/s}$ . Asimismo se adoptó una relación de partición de SST de 0,5 entre fracción sedimentable y coloidal.

Se postuló que la concentración de SST en la cabecera del estuario estaría dominada por los sólidos coloidales aportados por el Lago Argentino y por el aporte lateral de sólidos sedimentables desde la zona de aporte directo al estuario aguas debajo de JC.

- El valor de concentración de SST en la desembocadura del río cae un 47%, es decir, prácticamente a la mitad del correspondiente al escenario natural.

Balance medio anual de carga sólida para escos natural y con presas		Sólidos Sedimentables			Sól. Coloidales
		Aporte lateral	Deposición	Carga saliente	Carga saliente
		(10 <sup>3</sup> ton/año)	(10 <sup>3</sup> ton/año)	(10 <sup>3</sup> ton/año)	(10 <sup>3</sup> ton/año)
Natural	L.Argentino	2482.0	2396.9	85.1	85.1
	Presa NK	19.8	-	104.9	85.1
	Presa JC	18.2	-	123.1	85.1
	Tramo inferior	38.0	-	161.1	85.1
Con presas	L.Argentino	2482.0	2396.9	85.1	85.1
	Presa NK	19.8	86.2	18.7	85.1
	Presa JC	18.2	29.0	7.9	85.1
	Tramo inferior	38.0	-	45.9	85.1

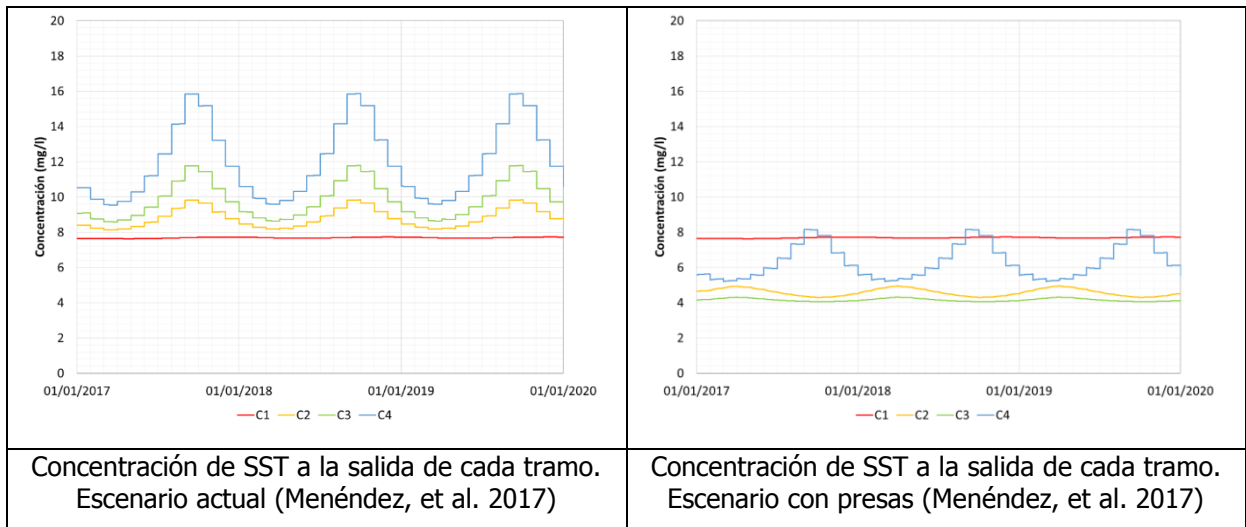
Concentraciones medias anuales de sólidos para escenarios natural y con presas		Sólidos Sedimentables	Sólidos Coloidales	S. Suspendidos Totales (SST)	Variación de SST
		(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(%)
Natural	L.Argentino	3.85	3.84	7.69	-
	Presa NK	4.97	3.84	8.81	-
	Presa JC	6.00	3.84	9.84	-
	Tramo inferior	8.16	3.84	12.00	-
Con presas	L.Argentino	3.85	3.84	7.69	0%
	Presa NK	0.75	3.84	4.59	-48%
	Presa JC	0.32	3.84	4.16	-58%
	Tramo inferior	2.48	3.84	6.32	-47%

- Los resultados sugirieron que, al igual que los dos embalses (NK y JC) capturan la mayor parte del sedimento fino sedimentable ingresado y que por el atrape, el valor de concentración media anual de sedimento sedimentable en suspensión en la desembocadura del río Santa Cruz caerá a prácticamente la mitad de la correspondiente al escenario natural.

A continuación, se muestra la evolución anual de la concentración de SST al final de cada uno de los cuatro tramos de recepción de aportes, y se advierte que la presencia de los embalses disminuiría las concentraciones de SST en las zonas de aporte a los embalses a



niveles similares a los de la Zona de aporte al Lago Argentino, disminuyendo casi completamente su modulación mensual.



Dado que la implementación y calibración del algoritmo se efectuó sobre la base de un buen número de hipótesis, se realizaron análisis de sensibilidad para evaluar la influencia de la incertidumbre de los valores adoptados, verificándose que frente a un rango de variación de entre 20% y 80% de la fracción de sólidos sedimentables respecto de los SST, la reducción de concentración oscila entre 30% y 65%. La variación del diámetro medio de la fracción de sólidos sedimentables entre 2 y 10  $\mu\text{m}$  implicaría la reducción de concentración en la desembocadura entre 40% y 50%.

La información hidrosedimentológica existente será ampliada a partir de los monitoreos planteados, a fin de disponer de una descripción adecuada de los procesos de sedimentación, y obtener mayores precisiones sobre el volumen de sedimentos capturado y el remanente disponible para alcanzar el estuario. La definición de mayor detalle de los procesos erosivos en la cuenca y la deposición en los embalses, permitirá cuantificar los volúmenes de material sólido que ingresan al Río Santa Cruz y sus mecanismos de transporte. Con ese fin deberán preverse las campañas de captura de información y la implementación de metodologías de cálculo específicas.

### 5.7.2.3 Agradación en Tramos Superiores

Los tramos fluviales superiores del Río Santa Cruz aguas arriba de los embalses, experimentarán cambios originados por las alteraciones de la dinámica de transporte de

sedimentos actual. Se analizan los impactos potenciales en función de la dinámica actual del tramo en cuestión, obtenida a partir de la caracterización geomorfológica de base.

La presencia del embalse NK generará los siguientes impactos potenciales:

- La presencia del perfil de remanso generará una disminución del perfil de velocidades a lo largo del curso y por ende habrá una tendencia a cesar el proceso erosivo en el curso del río,
- Asimismo, el cese del proceso erosivo debería conducir a largo plazo a una estabilización del umbral estructural en el Lago Argentino,
- Como consecuencia del perfil remansado y la disminución del perfil longitudinal de velocidades, es de esperar que tenga lugar un proceso de agradación que habitualmente se manifiesta con la aparición de un delta progradante en correspondencia con el embalse. La posición y magnitud de dicho delta dependerá de la magnitud del aporte de sedimentos, de su granulometría y del perfil de velocidades.
- Las mediciones de tasa de sedimentos disponibles dan cuenta de una concentración de material sólido de 7.7mg/l en Diciembre de 2016 en correspondencia con la embocadura en el lago Argentino (Fuente: Determinación de sólidos suspendidos y material disuelto en el Río Santa Cruz, Centro de Investigaciones Geológicas, Marzo 2017)
- A su vez, la generación de los lagos artificiales provocará la elevación del nivel de base de los tributarios aguas arriba y propiciará la formación a mediano plazo de deltas locales en cursos permanentes y en el largo plazo la atenuación de la erosión vertical, pero los cursos de régimen estacional no experimentarán alteraciones a largo o mediano plazo. En el río Bote, de régimen permanente, este proceso puede ser de importancia a largo plazo ya que la elevación de su nivel de base actual por la formación del lago artificial de la presa Néstor Kirchner, originará la formación de un delta local de bajo desarrollo en su sección distal, y reprimirá su actual tendencia a la profundización de su cauce.

Estos procesos serán monitoreados mediante la implementación de campañas de relevamiento de información topobatimétrica que alimentarán algoritmos de cálculo para su cuantificación dentro del PGA.

#### 5.7.2.4 Erosión Aguas abajo de las Presas

La dirección y magnitud de los cambios geomorfológicos sobre el cauce aguas de JC se producirán sobre la base del ajuste al nuevo régimen hidrosedimentológico y de aporte de sedimentos resultante de la construcción de la presa y de la resistencia del material del lecho aguas abajo.

La distancia aguas abajo del embalse que debe recorrer el flujo para recuperar la carga de transporte sólido previo a la construcción de la presa depende del nuevo régimen hidrosedimentológico, de la disponibilidad de sedimentos en el cauce y de los aportes de caudal líquido y sólido de los diferentes tributarios. Dependiendo de estas variables, la recuperación se producirá después de que el flujo recorra una distancia determinada.

La respuesta del cauce aguas abajo de la presa es la incisión (degradación) del lecho a un ritmo muy superior al régimen natural durante un periodo de varios años con posterioridad a la construcción y que se extiende varios kilómetros. Este impacto se explica porque la baja concentración de sólidos que del flujo desembalsado (flujo de agua clara) provoca que éste tienda a satisfacer su capacidad de transporte de sedimento en el tramo inmediatamente aguas abajo de la presa mediante la erosión del lecho y los márgenes.

El proceso de degradación es inicialmente intenso y se va atenuando a medida que se alcanza un equilibrio morfológico en un período de ajuste que puede desarrollarse por muchos años, a través de la disminución de la pendiente longitudinal del cauce y del incremento de la rugosidad. Sin embargo, algunos fenómenos pueden detener el proceso de degradación del lecho, como la formación de una coraza superficial de material grueso, no erosionable por el flujo y que protege al material subyacente.

Los impactos esperados son:

- **Modificación del perfil longitudinal:** El análisis de la variación del nivel del lecho con la distancia aguas abajo de la presa, muestra que la máxima erosión se produce en un tramo próximo a la presa, con una disminución progresiva de la degradación aguas abajo dando lugar a la disminución de la pendiente, aunque esta tendencia puede cambiar debido al diferente grado de erosionabilidad de los materiales a lo largo del río.
- A su vez, la progresión de la erosión aguas abajo del embalse puede inducir la progresión aguas arriba de la degradación en el lecho de los cauces tributarios, motivada por la disminución del nivel de base de éstos, lo que a su vez puede provocar un incremento de la carga sólida en el cauce principal y la ralentización del proceso de incisión.

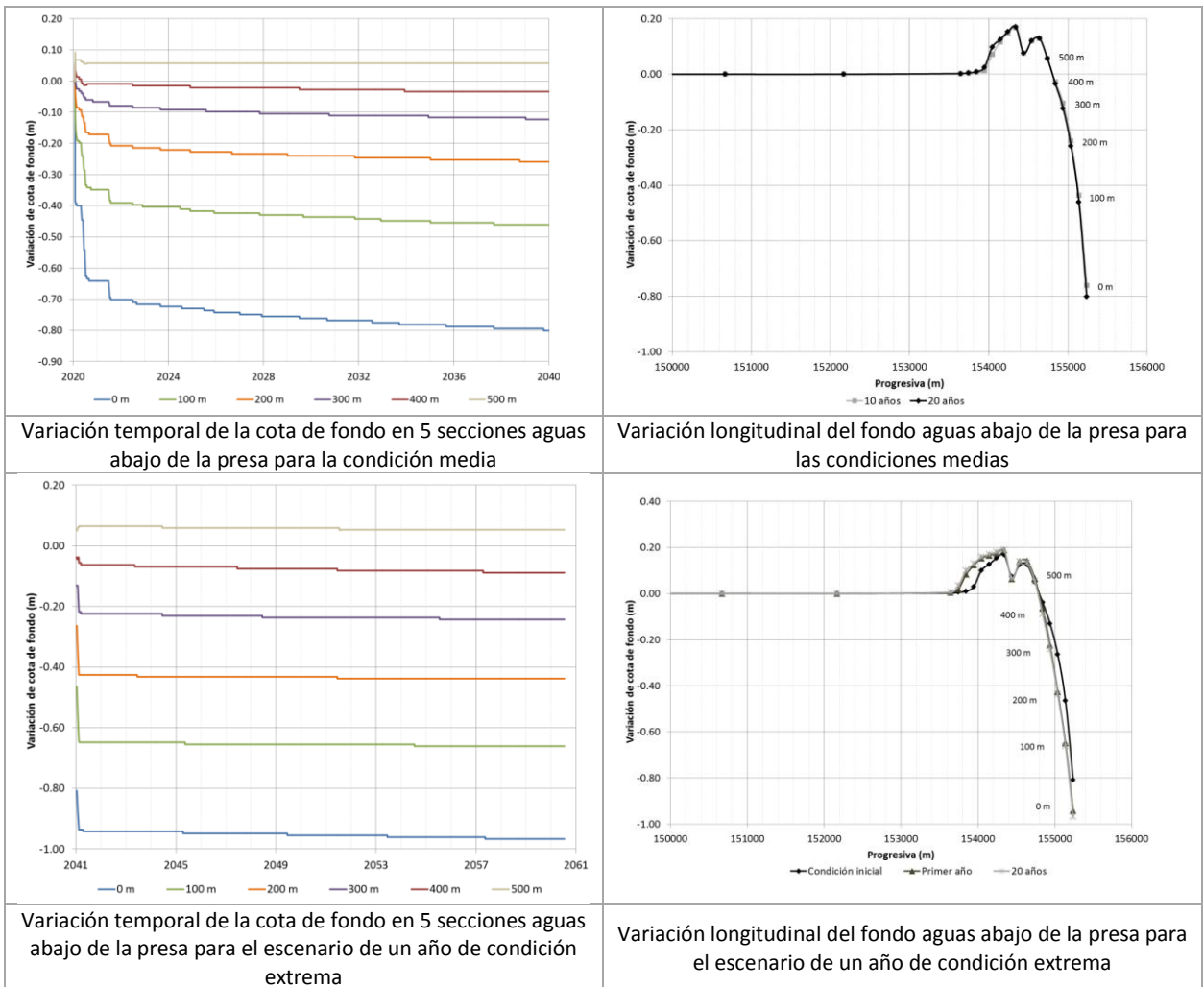
- Cambios en la sección transversal del cauce: Diversos estudios han constatado que puede producirse aguas abajo de la presa, la modificación en el ancho del cauce, aumento, disminución o ambos efectos, cuando se analiza su evolución temporal. El ensanchamiento de la sección transversal puede ocurrir debido a la baja concentración de carga sólida aguas abajo por el efecto de retención de la presa, lo que incrementaría la erosión sobre lecho y sobre las márgenes (fenómeno de aguas claras) o únicamente sobre las márgenes si el material del lecho es menos erosionable, pero también debido la disminución de los sedimentos depositados en las márgenes o en sus proximidades.

La evolución del perfil longitudinal del Río Santa Cruz ha sido evaluada mediante la simulación del tramo aguas debajo de la Presa JC (Modelación hidrosedimentológica del río Santa Cruz bajo el efecto de las represas patagónicas, Menéndez, A. et al, 2017) en el que se cuantificó el impacto erosivo que la presa generará inmediatamente aguas abajo mediante la aplicación de un modelo unidimensional del tramo inferior del río Santa Cruz, capaz de simular la hidrodinámica, el eventual transporte de sedimentos de fondo, y el consecuente cambio morfológico.

La magnitud y duración del proceso de incisión del lecho fue estimado considerando como forzante hidráulico el hidrograma medio anual del Río Santa Cruz y mostró una mayor velocidad de degradación en los primeros 2 años de la operación, seguida de una fase de erosión mucho más lenta, que muestra signos de estabilización luego de 20 años.

La erosión será más significativa al pie de la presa, disminuyendo rápidamente hacia aguas abajo. Se observa que la erosión al pie de presa alcanzará los 0,80 m, pero a 300 m disminuye a 0,20 m. Desde los 430 m aproximadamente y hasta los 1300 m habrá acumulación de los sedimentos erosionados, cuyo valor máximo se evaluó en 0,20 m.

En condiciones de mayor caudal, (como las correspondientes al año hidrológico 1965-1966) el modelo predice una erosión adicional que eventualmente llegará hasta 1,10 m al pie de la presa. La acumulación máxima prácticamente no variará, aunque se expandirá la zona de acumulación hasta aproximadamente 1500 m aguas abajo.



No han sido evaluados posibles cambios en otras características geométricas de la sección transversal, sin embargo, es posible que localmente el proceso de incisión esté suplementado por alteraciones de las márgenes debido a carcavamiento sobre las terrazas marginales.

En este sentido, se recomienda la implementación de un plan de monitoreo y relevamiento topobatemétricos del tramo aguas abajo tendientes a identificar posibles cambios en las características geométricas para valoración de la evolución a corto, mediano y largo plazo de procesos de erosión marginal en forma complementaria al monitoreo de la evolución del lecho.

### 5.7.2.5 Dinámica de Interacción Fluviolacustre

Uno de los impactos salientes se centra en el análisis de la interacción entre el funcionamiento en operación del embalse de la presa Kirchner con el sistema lacustre, específicamente con el Lago Argentino.

El análisis de este impacto se enmarca, en primera instancia, en los requerimientos del pliego de licitación, cuya cita se reproduce a continuación:

*“La operación de este embalse deberá garantizar que su nivel acompañe las oscilaciones naturales del Lago Argentino (depuradas éstas de los eventos de rotura).”*

*“[...]Se fijó que los niveles de operación de este embalse no deberán superar los niveles máximos diarios históricos depurados de eventos de rotura, según análisis realizado por series de Fourier*

*“[...] el nivel de embalse podría haberse variado dentro de cierto ámbito incursionando en mayor o menor medida en el Lago Argentino. La restricción ambiental de no afectar este lago llevó a que las alternativas previstas en el anteproyecto del año 1978 fueran todas descartadas y reemplazadas por la citada anteriormente de nivel que acompañe las oscilaciones naturales del Lago Argentino, no pudiendo aprovechar la posible capacidad de regulación que se usaba en el anteproyecto mencionado.”*

Esta premisa implica determinar una cota de operación en el embalse de manera tal que en ningún momento se altere el régimen de descarga de caudales, y por ende la oscilación, amplitud y magnitud de niveles de agua en el Lago Argentino. Todo este tema ha sido referido, en los diversos estudios llevados a cabo, como el análisis del desacople entre la presa Kirchner y el Lago Argentino.

El proyecto de ingeniería, modificado de modo de cumplir con los requerimientos antedichos, plantea los siguientes niveles de operación:

Nivel máximo de operación normal	176.5msnm
Nivel máximo extraordinario	179.3msnm

A continuación, se realiza un análisis de este impacto a la luz de los antecedentes llevados a cabo y disponibles para este estudio, a saber:

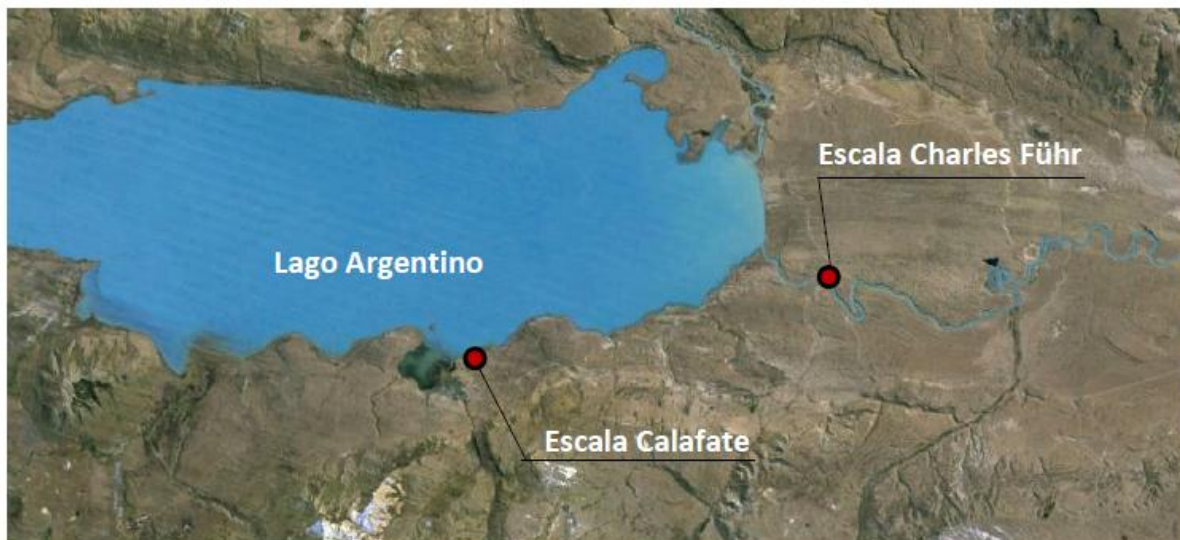
- Funcionamiento de Lago Argentino-Río Santa Cruz-Embalse Nestor Kirchner (UNLP)

- Determinación de la función Altura-Caudal para el Río Santa Cruz a la salida del Lago Argentino (Ing. Héctor Daniel Farías, UTE)
- Evaluación de la influencia del Proyecto Hidroeléctrico Néstor Kirchner sobre los niveles del Lago Argentino (Ing. Ascensio Lara, 2016)

El concepto de desacople debe plasmarse de la siguiente manera:

- En términos hidráulicos el efecto de remanso generado por la presencia y operación de la presa Néstor Kirchner, no deberá generar una sobreelevación de niveles en el Lago Argentino por sobre el rango de niveles registrados en las condiciones naturales. Este efecto se basa en el concepto hidráulico de que la presencia de una obstrucción en un curso fluvial en régimen subcrítico genera una sobreelevación de niveles de agua hacia aguas arriba hasta un punto tal que los niveles se aproximan asintóticamente a las condiciones fluviales naturales.
- La presencia de una singularidad en el escurrimiento, tal como es el caso de la presa, genera un impacto hidráulico, descrito en el punto anterior, como así también generará una alteración en la dinámica sedimentológica, tanto aguas arriba como aguas abajo de la misma, que es menester estudiar y monitorear.
- Reuniendo ambos criterios, el análisis y monitoreo hidrosedimentológico que deberá implementarse como parte del plan de gestión, deberá realizar un seguimiento durante el funcionamiento de la obra para evaluar la hidrodinámica general de la embocadura y las dinámicas sedimentológicas desde las nacientes del río en el Lago Argentino. La profundización de los estudios hidrosedimentológicos (caracterizaciones, mediciones y modelación) también permitirán abordar en forma más cuantitativa la dinámica fluvio-lacustre que involucra los sistemas de Lagos Argentino y Viedma y la embocadura del Río Santa Cruz.
- Finalmente, el criterio de análisis se resume diciendo que el desacople se deberá garantizar tanto a corto como a largo plazo durante toda la operación de la obra.
- En términos técnicos el criterio de desacople puede expresarse como la necesidad de garantizar el régimen fluvial de la situación natural en todo el tramo de control de descarga del Lago Argentino.

- El funcionamiento del sistema en condiciones naturales se caracteriza a partir del análisis de los registros de niveles en la escala en lago Argentino y de niveles y caudales en la escala de Charles Fuhr.

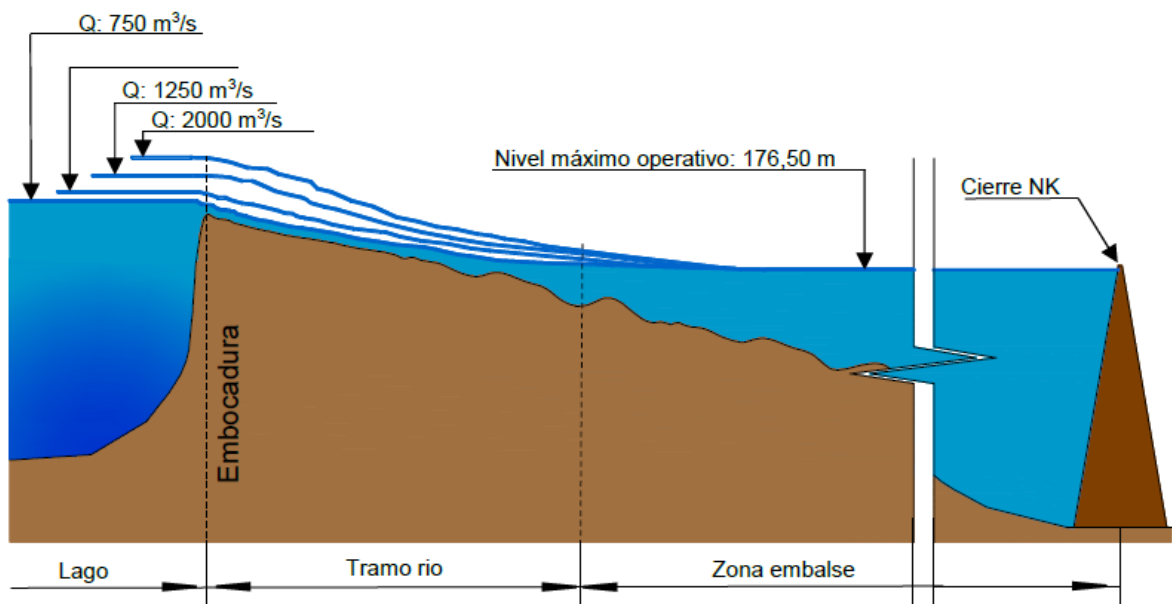


**Figura 1: Ubicación de escalas hidrométricas**

- **Comportamiento con obra. Concepto de remanso**

La presencia de la obra generará una modificación de la curva-clave de la situación natural como consecuencia del remanso hidráulico que generará la presencia de embalse Néstor Kirchner; la siguiente figura ilustra el funcionamiento del sistema.





**Figura 2: Esquema conceptual del fenómeno de remanso hidráulico entre el sitio de presa y el Lago Argentino**

En términos conceptuales se desprende que, para una dada cota de operación (representada en el eje de presa):

- A mayor caudal de ingreso mayor es el nivel esperado en el Lago Argentino, como es de esperar en función de su curva-clave en condiciones naturales;
- Al mismo tiempo, a mayor caudal, la extensión del efecto de remanso se menor. Es decir, el encuentro entre el nivel de agua perturbado por el efecto de remanso con el nivel en condiciones naturales se produce a una distancia más próxima a la presa (y más alejada del Lago Argentino)
- En función de la pendiente del curso de agua y características friccionales y de la magnitud de la obstrucción (dada por un nivel de operación en la presa), se obtendrá una curva-clave en condiciones de operación, cuya diferencia con la curva-clave en condiciones naturales determinará el grado de afectación de la obra.

La siguiente figura ilustra los conceptos arriba vertidos. La situación de desacople completo, en condiciones ideales, se dará siempre que, en condiciones de operación de la obra, los niveles requeridos en el Lago Argentino para descargar la serie de caudales normales hacia el Río Santa Cruz no varíen con respecto a sus valores naturales. Es decir, que no se desarrolle una situación de ahogamiento de la curva-clave natural (como las curvas 3 y 4 del esquema ilustrativo).

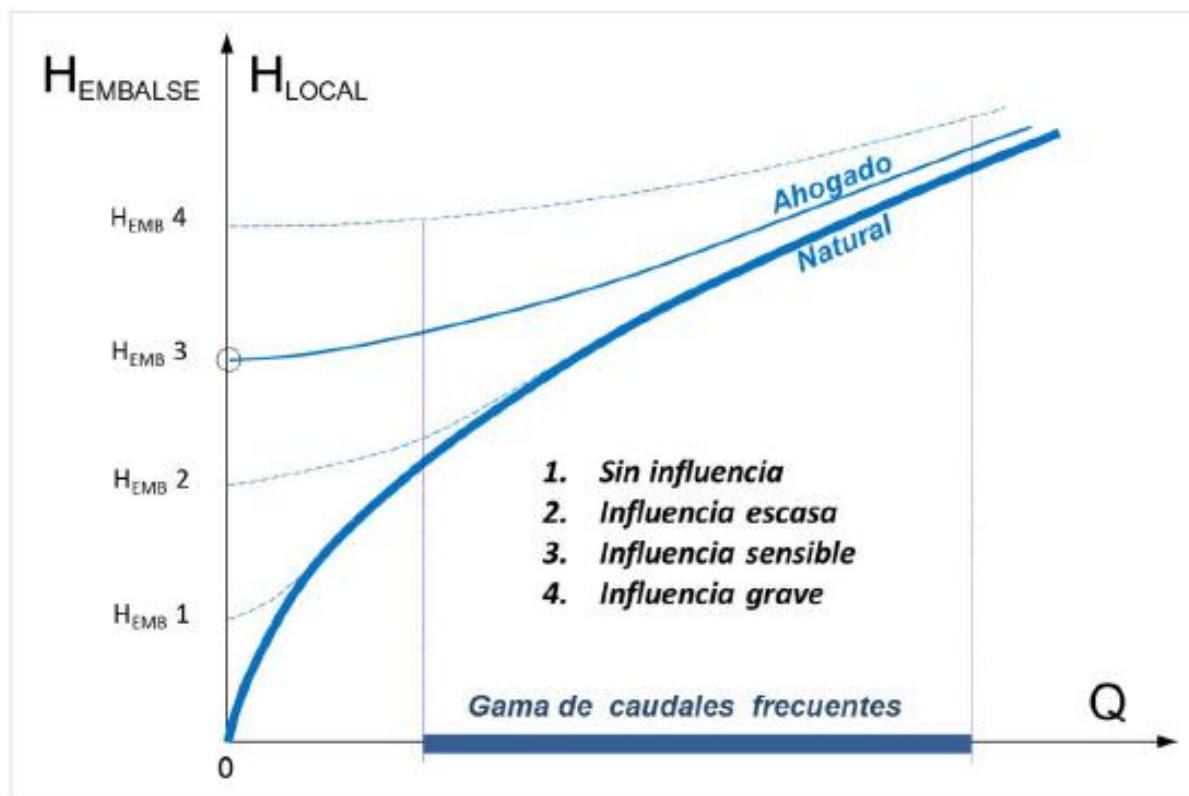


Figura 3: Representación del fenómeno de remanso hidráulico sobre la curva clave natural

- **Síntesis de resultados obtenidos de cada estudio**

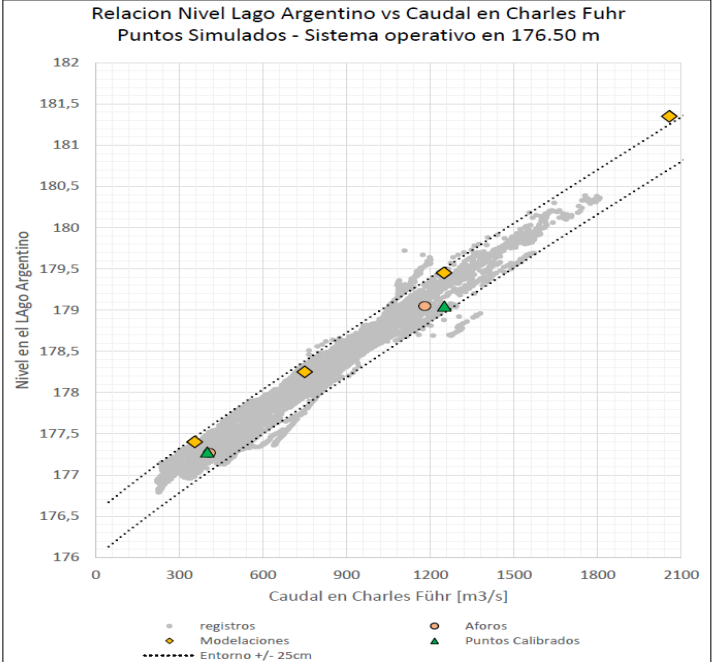
El análisis de remanso fue abordado por tres estudios antecedentes:

Un trabajo de modelación 1D-3D (Flow 3D) llevado a cabo por la UNLP

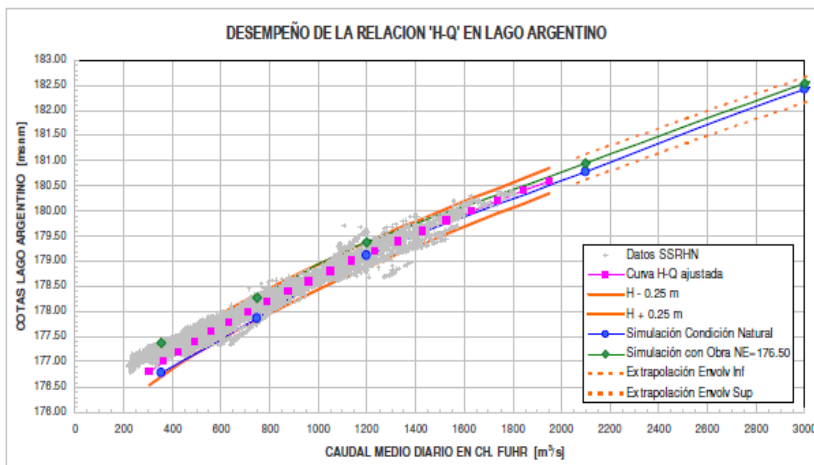
Un trabajo de modelación 1D (HEC RAS) desarrollado por el Ing. Farías

Un trabajo de análisis de los resultados precedentes desarrollado por el Ing. Lara quién además realizó un abordaje simplificado recurriendo a la expresión de *remanso express* (Lara, 2015) que plantea un ajuste de base físico-matemática de la curva-clave en condiciones naturales, a partir del máximo nivel de operación.

En cada uno de los estudios se obtuvo la curva-clave en condiciones operativas. Se resume a continuación los resultados de cada uno de ellos:

Resultados de los análisis	Observaciones
<p style="text-align: center;"><b>Resultados obtenidos por la UNLP</b></p>  <p style="text-align: center;">Relacion Nivel Lago Argentino vs Caudal en Charles Fuhr Puntos Simulados - Sistema operativo en 176.50 m</p> <p style="text-align: center;">Nivel en el Lago Argentino</p> <p style="text-align: center;">Caudal en Charles Fuhr [m3/s]</p> <p style="text-align: center;"> <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #cccccc; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> registros  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #ffff00; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Modelaciones  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border-top: 1px dashed black; margin-right: 5px;"></span> Entorno +/- 25cm  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; border-radius: 50%; margin-right: 5px;"></span> Aforos  <span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; border-left: 1px solid black; border-right: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black; margin-right: 5px;"></span> Puntos Calibrados         </p>	<p>Se utilizó modelación 3D para el análisis del control hidráulico en el tramo inmediatamente aguas abajo del Lago Argentino.</p> <p>Se complementó con un modelo 1D para el desarrollo del remanso hasta el eje de presa.</p> <p>Se presentan los resultados dentro de la banda completa de aforos registrados en Charles Fuhr.</p>

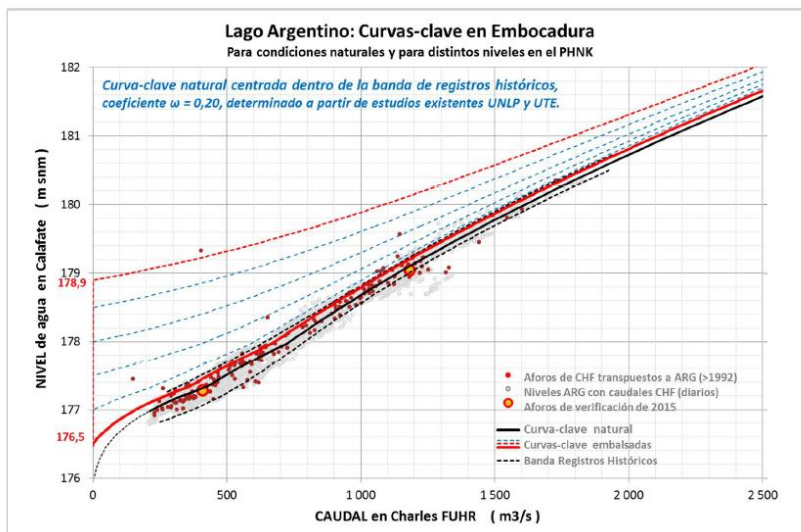
## Resultados obtenidos en el trabajo del Ing Farías (UTE)



Se realizó una modelación 2D y 1D para el análisis del efecto de remanso.

Los resultados se presentan dentro del rango de niveles observados.

## Resultados obtenidos en el trabajo de Lara



Se realizó un exhaustivo análisis de los registros de aforos en Charles Fuhr y en el Lago Argentino.

Se concluye que hay fuertes evidencias de una alteración (ascenso) del cero de escala hidrométrica en forma posterior a 1977. En función de ello, se trabajó con la banda superior de registros, posteriores a 1977.

Se confirma el régimen de control hidráulico presentado en los estudios anteriores.

Se realizó un análisis complementario y simplificado (denominado método local) que estima los desfases de niveles en función de la banda media de registros post-1977

En términos numéricos las siguientes tablas presentan los resultados obtenidos:

		<b>Niveles en el Lago Argentino (msnm)</b>						
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>		<b>200</b>	<b>355</b>	<b>750</b>	<b>1200</b>	<b>2100</b>	<b>3000</b>	<b>4100</b>
<b>Nivel natural</b>	Máximo registrado (+25cm)	<b>177.10</b>	<b>177.40</b>	<b>178.35</b>	<b>179.40</b>	<b>181.40</b>	n/d	n/d
	Nivel promedio	176.82	177.15	178.07	179.10	181.10	n/d	n/d
	Mínimo registrado (-25cm)	176.55	176.90	177.80	178.80	180.80	n/d	n/d
	Curva-Clave (Lara 2016)	176.95	177.23	178.04	179.14	180.90	<b>182.36</b>	<b>183.90</b>
<b>Nivel con obra</b>	Estudio UNLP	s/d	<b>177.40</b>	<b>178.25</b>	<b>179.45</b>	<b>181.29</b>	n/d	<b>184.79</b>
	Estudio UTE	s/d	<b>177.11</b>	<b>178.14</b>	<b>179.19</b>	<b>181.01</b>	<b>182.56</b>	<b>184.17</b>

- **Conclusiones**

Todos los análisis llevados a cabo, desde el punto de vista hidráulico, verifican que para el nivel máximo de operación (176.5msnm), el nivel en el Lago Argentino como consecuencia del efecto de remanso asciende, pero se encuentra comprendido dentro de la curva de mediciones de niveles diarios para cada caudal de análisis;

El rango de variación de niveles, entre la situación embalsada y la situación natural (promedio de los niveles máximos y mínimos registrados) está acotada a un máximo de 30cm (con un máximo de 19 cm en el caso del estudio del Ing. Ascensio Lara), comparando en forma consistente los resultados de cada uno de los análisis con los valores normales también estimados en cada caso;

Todos los análisis efectuados se han llevado a cabo mediante aproximaciones hidráulicas suponiendo la permanencia de las características morfológicas del sistema lacustre y el tramo fluvial entre el Lago Argentino y la presa Néstor Kirchner. Este

análisis es suficiente para garantizar el desacople hidráulico en los términos expresados anteriormente.

Finalmente, tal como se aborda posteriormente en el PGA, se deberán realizar mediciones y análisis complementarios para precisar la dinámica hidrosedimentológica fluvioacustre que permita realizar un seguimiento de los procesos sedimentológicos en el tramo antedicho. Tal como se analizó en el apartado geomorfológico, los análisis preliminares llevados a cabo indican que los procesos de sedimentación en el tramo en cuestión, a partir de las mediciones de concentración de sólidos disponible, no comprometen el régimen fluvial del tramo que quedará aguas arriba de la cola del embalse.

### **5.7.2.6 Impacto sobre la Dinámica de Interacción Estuarina**

#### **5.7.2.6.1 Cambios en el Régimen de Caudales Fluviales**

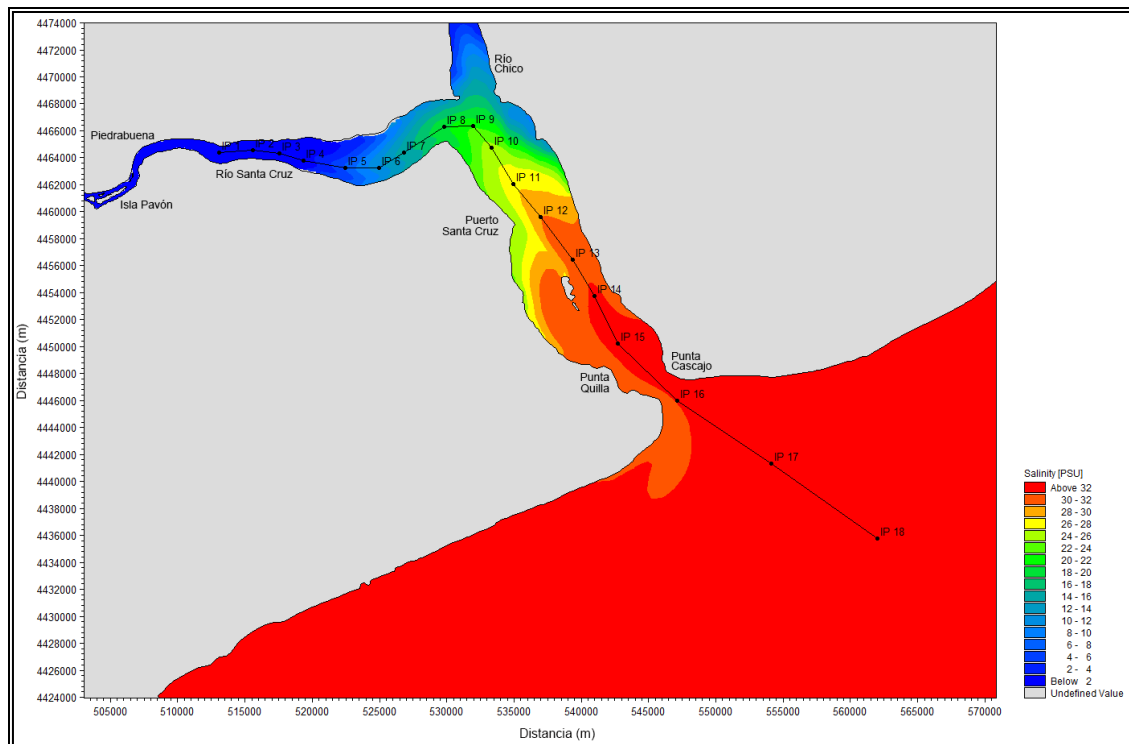
Durante la etapa de llenado de embalse, los caudales fluviales disminuirán y determinarán un impacto en la extensión de la pluma salina hacia aguas arriba. La cuantificación de tal impacto se ha analizado mediante la comparación de los campos hidrodinámicos, de temperatura y salinidad asociados a un rango de caudales bajos del Río Santa Cruz.

Se consideraron escenarios de caudales bajos característicos correspondientes al mes de junio (mínimo, máximo y medio) que resultan de interés ambiental (invernada del Maca Tobiano), que se indican en la siguiente tabla, y bajo condiciones de temperatura constante en ambos ríos afluentes de 4°C, temperatura del agua de mar de 7,5°C y temperatura ambiente de 1.7 °C. Se asumió salinidad nula en los bordes fluviales y salinidad de 32.5 UPS en la frontera oceánica.

#### **Caudales del río para el mes de junio asociados a los escenarios de interés ambiental (Subsecretaría de Recursos Hídricos (<http://bdhi.hidricosargentina.gov.ar>))**

Caudal medio histórico para junio (1955 – 2003)	691 m <sup>3</sup> /s
Caudal Máximo observado para junio (1966)	1002 m <sup>3</sup> /s
Caudal Mínimo observado para junio (1956)	232 m <sup>3</sup> /s

Los resultados de la modelación en términos de la altura de la columna de agua, salinidad, temperatura y velocidad de la corriente, se analizaron en 10 puntos de referencia a lo largo de un eje longitudinal que se extiende por el río Santa Cruz desde aguas arriba de la localidad de Piedrabuena hasta el océano. A continuación se observa la Figura 6, con los puntos referenciados.



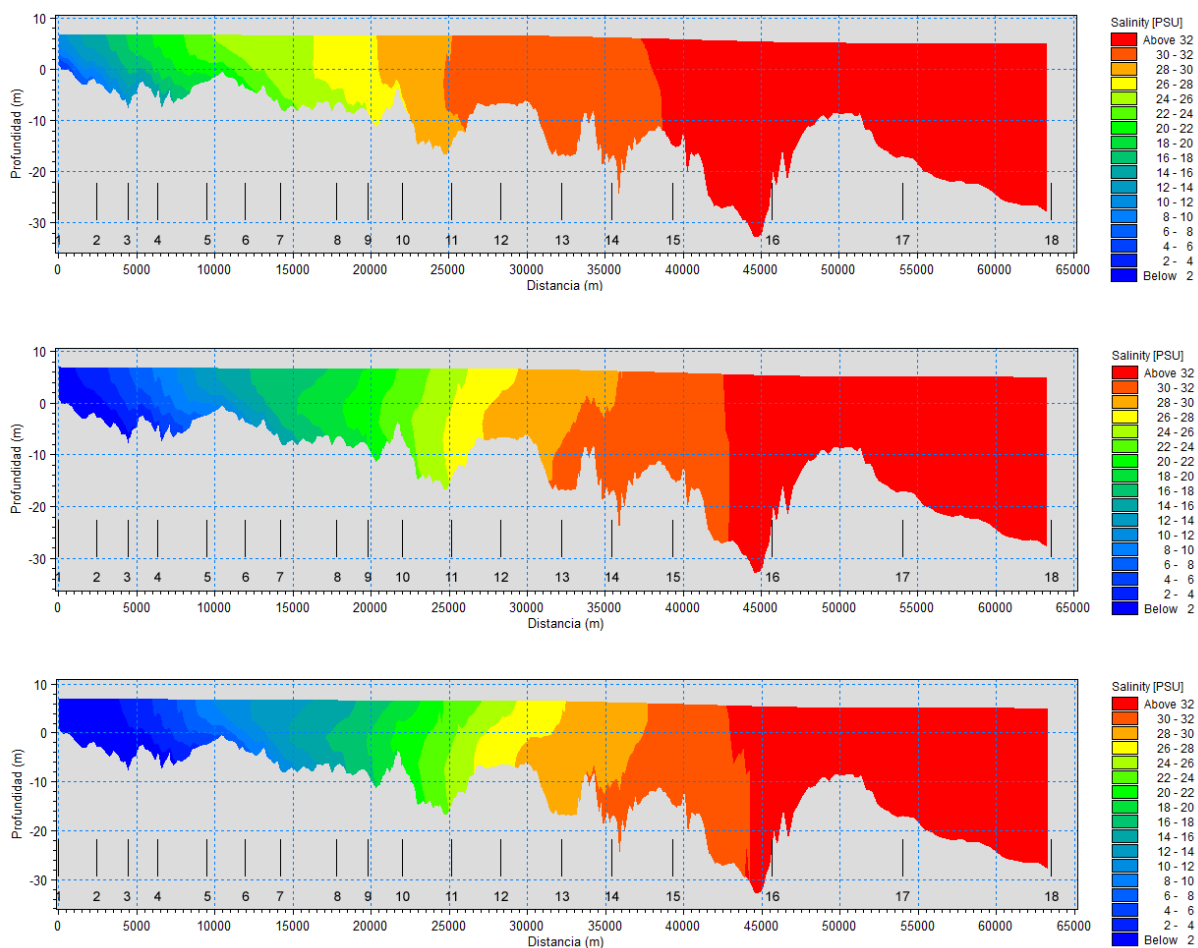
**Figura 6: Puntos de referencia a lo largo de un eje longitudinal que se extiende por el río Santa Cruz desde aguas arriba de la localidad de Piedrabuena hasta el océano**

Para los 3 caudales seleccionados, las simulaciones indicaron que:

- El nivel medio del río aumenta naturalmente con el caudal, pero ya a partir de la sección P8 localizada en se independiza del aporte fluvial y es dominado por la marea.
- Las velocidades medias cerca del fondo indicaron variaciones de magnitud sensibles hasta la sección P5, crecientes con el caudal, pero hacia el mar el módulo de la corriente muestra la independencia del valor del caudal y la condición de marea es dominante.
- En el tramo definido entre las secciones P1 a P3 la salinidad es nula, y en la sección P4 se advierte una salinidad de 0,7 UPS para el caudal mínimo. Para el caudal máximo, la

cuña salina penetra sólo hasta la sección P6. Dentro del estuario el gradiente de salinidad es elevado. En el punto P10, los valores medios de la salinidad varían entre 26.2 y 16.1 UPS para los caudales mínimo y máximo, respectivamente. La distribución longitudinal de la salinidad para los 3 caudales considerados, es variable con la condición de marea y manifiesta variaciones importantes:

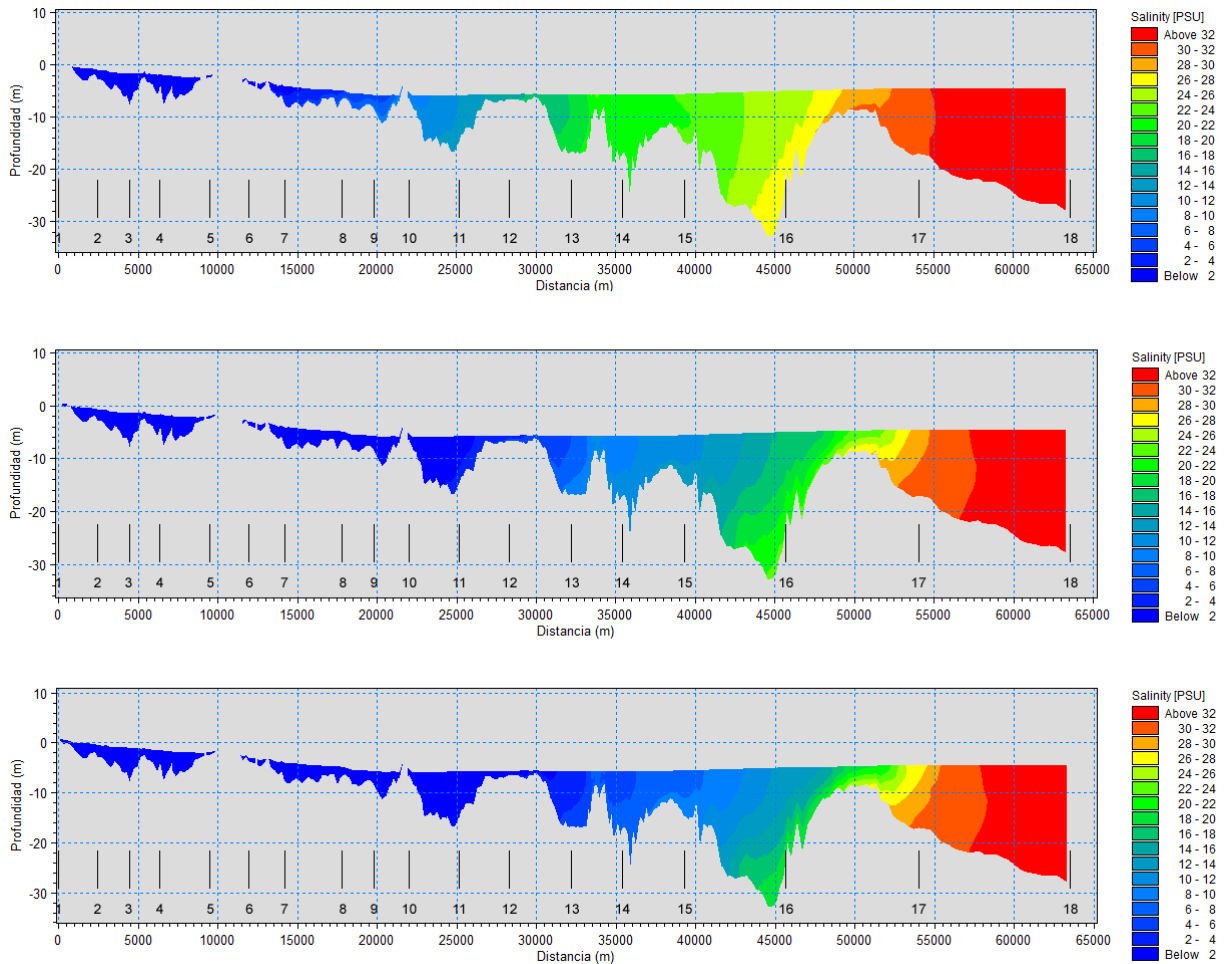
- Condición de Pleamar: En la medida que el caudal aumenta, la salinidad se desplaza hacia el estuario. Para el caudal mínimo el agua salina llega hasta 11 km aguas abajo de Piedrabuena. Para caudales medio y máximo en ese sitio la salinidad es inferior a 2UPS. En marea creciente, la salinidad es menor a 2 UPS para cualquier condición de caudal



**Figura 7.a.: Cortes verticales de salinidad para el caudal  $Q_{min} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$  (arriba),  $Q_{med} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$  (medio) y  $Q_{max} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$  (abajo) para la condición de pleamar (ESSA, 2017)**



- Condición de Bajamar y bajante: Para cualquier condición de caudal afluyente las salinidades son menores que 2UPS en P1 y P2. Este valor de salinidad se verifica en Bajamar hasta P8 en la condición de caudal mínimo.



**Figura 4.b: Cortes transversales de salinidad para el caudal  $Q_{min} = 232 \text{ m}^3/\text{s}$  (arriba),  $Q_{med} = 691 \text{ m}^3/\text{s}$  (medio) y  $Q_{max} = 1002 \text{ m}^3/\text{s}$  (abajo) para la condición de bajamar (ESSA, 2017)**

La importancia de estos resultados radica en que representa una condición de caudales fluviales mínimos en condiciones invernales y del orden de magnitud que podría tener el caudal ecológico que se adopte para la etapa de llenado de las represas.

A partir de ellos se ha concluido que hasta el punto de control P2, ubicado a unos 3,5 km aguas abajo de la toma de agua de Piedrabuena, para ninguna de las condiciones de caudal y nivel se produce una afectación de la salinidad del agua a 1 metro del fondo. Recién en el

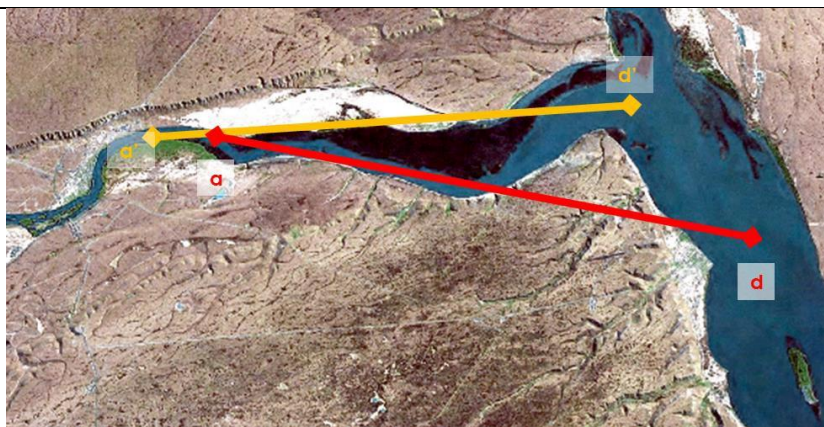
punto P3, ubicado a unos 8 km de la toma de Piedrabuena, se registra un leve incremento de salinidad alcanzando un pico de 1,4 UPS a 1 metro del fondo en pleamar.

Por lo tanto, se estima que no se producirían afectaciones de la salinidad del agua en la toma de agua de Piedrabuena durante la fase de llenado, en la hipótesis que los caudales erogados sean del orden del valor mínimo modelado.

Asimismo, los Estudios realizados por la Universidad Nacional de la Plata, para situaciones de caudales fluviales bajos, (representativos de la condición que prevalecería durante el llenado), y de marea de amplitud variable entre 4m y 11,2m correspondientes al mes de Julio de 2016., mostraron que para los niveles de mareas extremos no se detectan modificaciones apreciables en los niveles dentro del estuario, aún para una reducción de caudal superior al 50% del valor medio del mes de julio de 550m<sup>3</sup>/s.

Durante las pleamares, la interfase entre agua dulce y salada (IADS) avanza aguas arriba del río Santa Cruz, debido al ingreso de agua de mar mientras que en bajamar, alcanza zonas cercanas a la confluencia de los ríos Santa Cruz y Chico. El alcance espacial de la interfase está definido por la amplitud de la onda de marea.

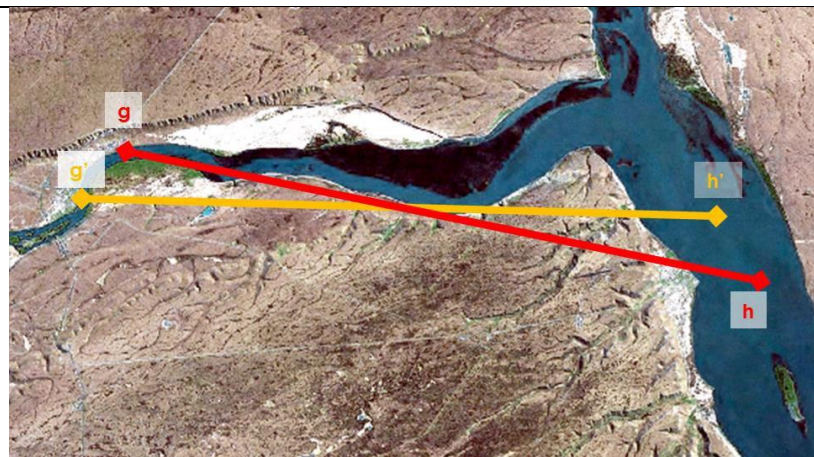
En la figura siguiente, se muestra que cuando el caudal que ingresa por el Río Santa Cruz es de 550m<sup>3</sup>/s (Caudal con 50% de probabilidad de ser excedido en el mes de Julio) las posiciones extremas de la cuña salina se localizan en los puntos a y d, indicando un desplazamiento total de 25km, mientras que en el escenario de caudal mínimo de 200m<sup>3</sup>/s, (valor mínimo extremo, inferior al mínimo registrado en julio), la interfase evoluciona entre los puntos extremos a' y d' (aproximadamente 20km) para las mismas amplitudes de marea y por lo tanto, se puede concluir que la reducción de los caudales del Río Santa Cruz originados por la operación de llenado de las presas resultaría en un desplazamiento de la IADS unos 3 km hacia aguas arriba en el río, y alrededor de 7 km en el estuario.



**Figura 5. Posiciones extremas de la IADS durante el mes de julio de 2016. En un escenario sin presa, la IADS se**

**desplaza entre a y d (con caudal mínimo natural); mientras que de producirse el llenado de la presa las posiciones extremas de la IADS son a' y d' (con caudal mínimo extremo), (UNLP, 2017)**

En un escenario hipotético de amplitudes máximas de marea para el mes de Julio (a partir de los valores extremos de la marea astronómica de julio de 2014, 2015, 2016 y 2017) como "condición extrema natural", durante la operación de llenado, si el caudal es del orden de 200m<sup>3</sup>/s, la posición de la IADS podría estar algo más aguas arriba que la situación normal del mes de julio, como se muestra en la figura, donde las posiciones g-h denotan los valores extremos de la IADS en julio de 2016 y las g'-h', las definidas por la marea extrema.



**Figura 6. Posiciones extremas de la IADS para el mes de julio considerando un período de 4 años. Situación actual g-h y durante el llenado g'-h'**

Los resultados obtenidos permiten concluir para la etapa de llenado:

- Eventos de marea no extremos en combinación con reducciones en el caudal, no alterarían el funcionamiento natural del estuario
- Durante el llenado, un evento de amplitud de marea extrema generaría un ingreso de la cuña salina en el río Santa Cruz levemente mayor al que se produce en las condiciones actuales.

El plan de llenado que se apruebe por parte del Comitente para la situación de escenario que se presente cuando se vaya a realizar el llenado de los embalses, deberá garantizar la inexistencia de impacto (modificación respecto de los valores del régimen natural) sobre los

parámetros (salinidad por ejemplo) que tengan incidencia sobre la población de Macá Tobiano que tiene presencia comprobada en el estuario del río Santa Cruz entre los meses de abril y julio.

#### **5.7.2.6.2 Cambios en la Dinámica Hidrosedimentológica Actual**

No se dispone aún del análisis de impactos en la dinámica sedimentaria del estuario originada por cambios en cargas de sedimento en suspensión debidas al cese o reducción de aportes sedimentarios del Río Santa Cruz y el efecto de la salinidad en la floculación de las partículas finas, ya que el modelo numérico está siendo calibrado.

*En etapas siguientes se evaluará la afectación en la dinámica natural de transporte de sólidos de la retención de sedimentos por los embalses y su análisis se integrará a los planes de estudio y monitoreo que se proponen en el marco del PGA.*

#### **5.7.3 DINÁMICA TRANSICIONAL (DESVÍO Y LLENADO)**

La construcción de las obras impone, más allá del impacto permanente que surgirá de su presencia en faz operativa y que forzará un nuevo estado de régimen en el corredor fluvial, una serie de impactos temporales que deberán ser adecuadamente ponderados y gestionados para arribar a nuevo estado de régimen ambientalmente sustentable.

Como enfoque de análisis y gestión, se deberá tener para toda la extensión del curso de agua una caracterización de relacionales funcionales naturales en función de parámetros hidráulicos para cada tramo crítico definido hacia aguas arriba y aguas debajo de cada sitio de implantación de obra. Esta caracterización deberá desarrollarse a nivel de línea base y luego en operación, a partir de la cual surgirán diversas medidas de mitigación: algunas de tipo estructural y otras de política de operación.

Esta vinculación hidráulica-funcional podrá hacerse con uno o más modelos y los resultados en términos de gestión ambiental dependerán de la etapa objeto de análisis:

Régimen de llenado de embalse

Canal de compensación ambiental durante el desvío

Régimen de operación a lo largo de la vida de la obra

Finalmente, las herramientas de modelación deberán formar parte de un sistema de gestión futuro que se irá alimentando con datos de campañas y monitoreo.

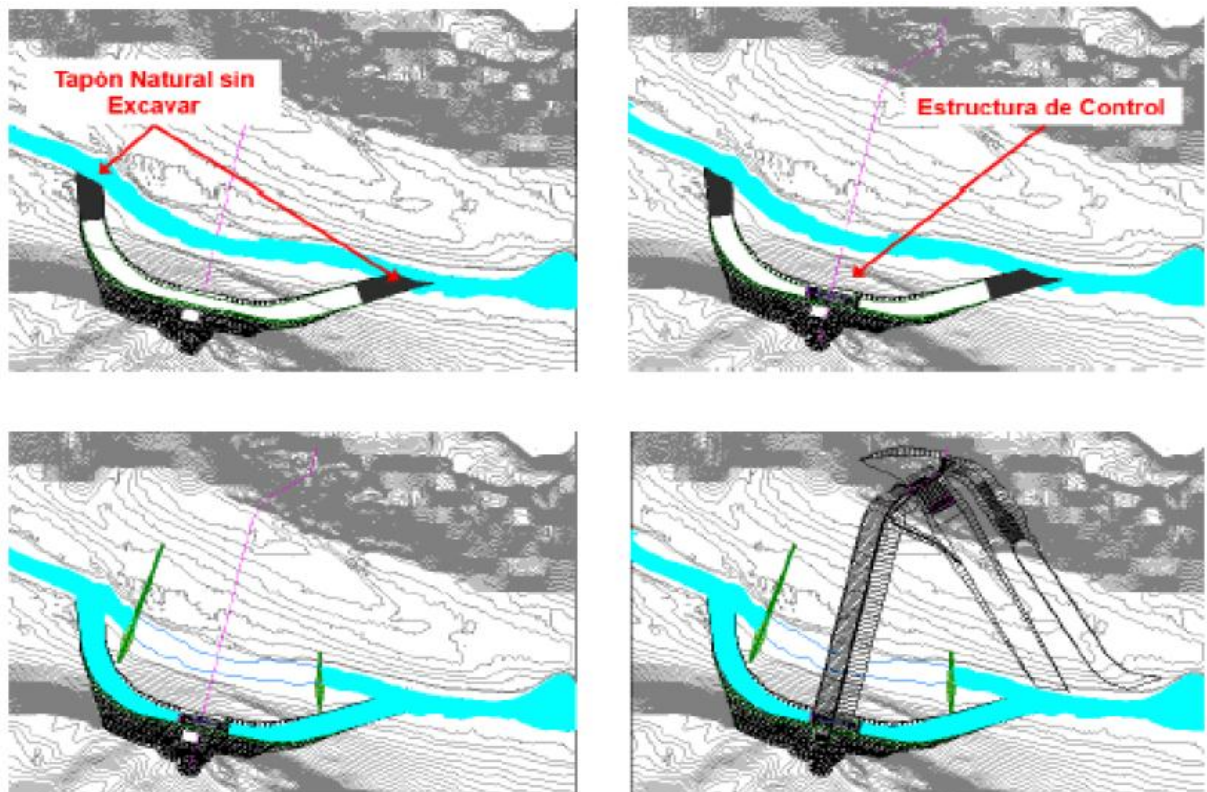
### 5.7.3.1 Desvío

Las obras de desvío fueron planteadas de la siguiente manera:

- Construcción de canales revestidos de hormigón sobre margen derecha e izquierda de las presas Kirchner y Cepernic respectivamente
- Se planteó un caudal de diseño de  $2100\text{m}^3/\text{s}$  en ambos casos, asociado a una recurrencia de 50 años.
- Para la presa Kirchner, se planteó un canal de desvío de sección trapezoidal de 60m de ancho de fondo, una pendiente longitudinal de 0.4por mil.
- Para la presa Cepernic, se planteó un canal de desvío de sección trapezoidal de 120m de ancho de fondo, una pendiente longitudinal de 0.79por mil

Las siguientes figuras ilustran el concepto de desvío planteado para ambas presas:

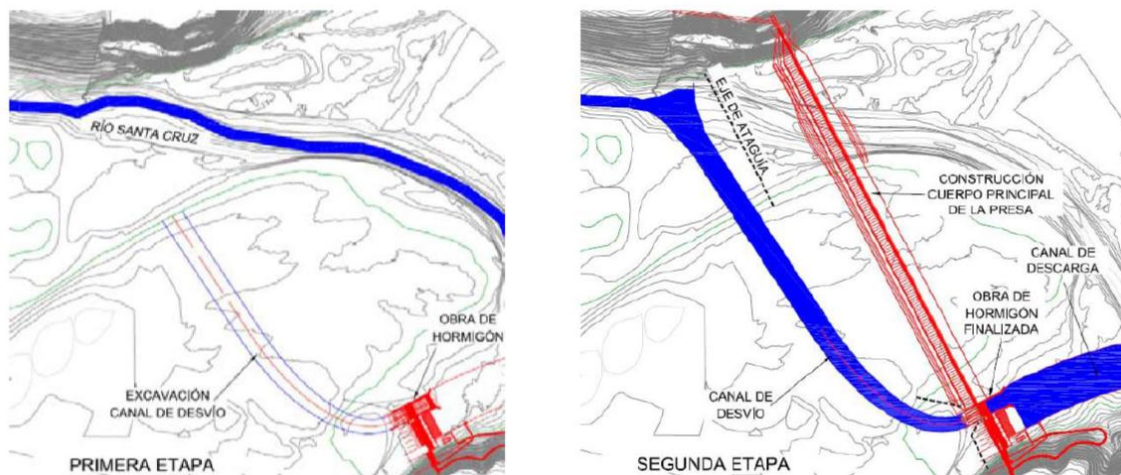
#### Presa NK



**Figura 10** Desvío del río en la presa NK



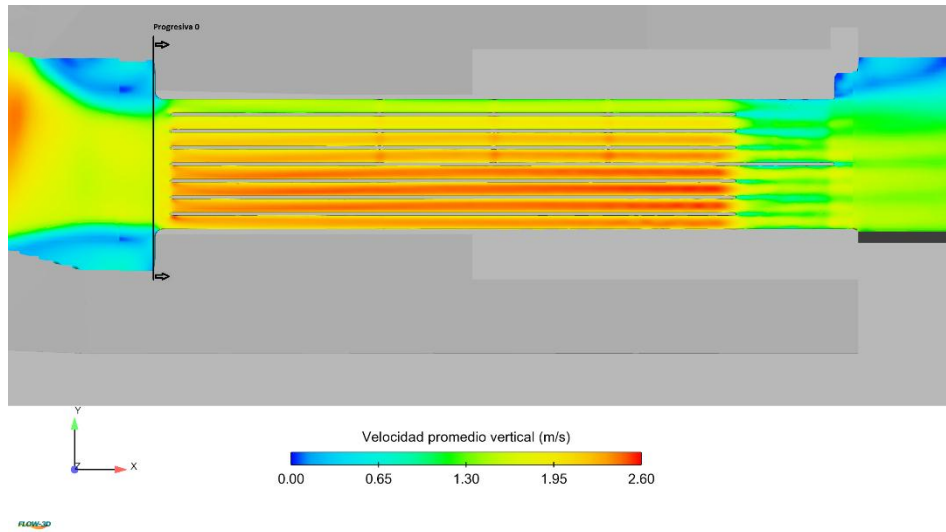
## Presa JC



**Figura 11** Desvío del río en la presa JC

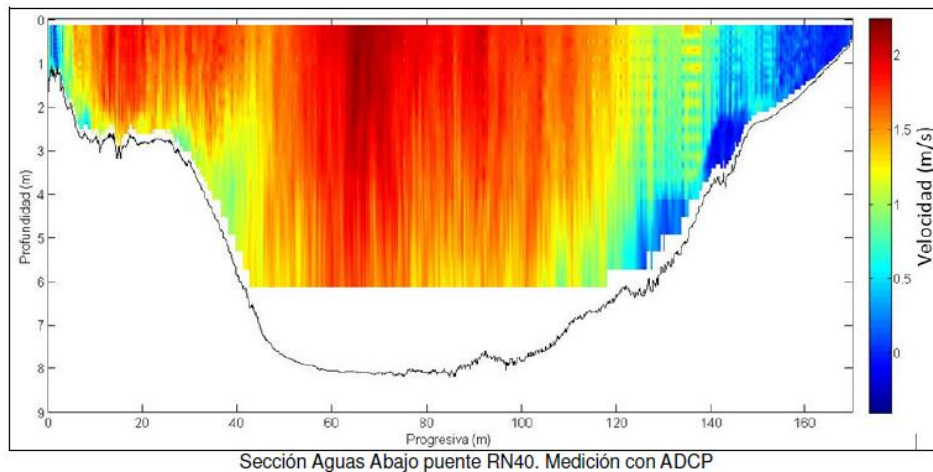
En términos de impacto se formulan las siguientes consideraciones:

- Las obras de desvío permiten el pasaje de la totalidad de caudales frecuentes del río. Lógicamente caudales de crecida superiores al caudal de diseño también serán erogados aunque posiblemente comprometan las obras de cierre temporario;
- El criterio habitual en el diseño de estas obras se basa en lograr una buena eficiencia hidráulica a los efectos de minimizar las dimensiones de estas obras y compatibilizarlas con órganos operativos futuros de la central, habitualmente descargadores de fondo. Esto conlleva a obras que permiten el pasaje de los caudales del río con velocidades que superan ampliamente las velocidades del escurrimiento en el curso natural;
- Asimismo, las características del flujo se verán puntualmente afectadas (en tramos que van de los 1800m a 2400m de longitud) en cuanto a relaciones de profundidad de agua y distribución de velocidades para un dado caudal. La siguiente figura ilustra el rango de velocidades en la obra de desvío de NK para un caudal de  $500\text{m}^3/\text{s}$  donde se observan velocidades que superan los  $2.5\text{m/s}$



**Figura 12: rangos de velocidades en la obra de desvío de NK para un caudal de  $500 \text{ m}^3/\text{s}$  donde se observan velocidades que superan los  $2,5 \text{ m/s}$ .**

- Se hace notar que las velocidades obtenidas en mediciones con ADCP en Charles Fuhr (Farias, 2015) son del orden de  $1,9 \text{ m/s}$  (en términos medios) para un caudal del orden de  $1180 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 13: Velocidades obtenidas en mediciones con ADCP en Charles Fuhr (Farias, 2015) son del orden de  $1,9 \text{ m/s}$  (en términos medios) para un caudal del orden de  $1180 \text{ m}^3/\text{s}$ .**

- Como parte del Plan de Gestión deberá analizarse la posibilidad de considerar modificaciones en el diseño de la obra de desvío que permitan manejar eficientemente el rango de caudales máximos como así también el espectro de caudales más bajos con relaciones funcionales compatibles con los requerimientos de



las especies migratorias. Específicamente se podrá considerar anexar algún vano de conducción para caudales ambientalmente más sustentables.

### 5.7.3.2 Llenado

Siendo el período del llenado de los embalses de particular interés respecto a la posibilidad de generar impactos, se adoptó una estrategia que asegure la minimización de los mismos. En ella se involucra tanto el orden en el que se llenen ambos embalses como la metodología de manejo de caudales durante dicho procedimiento, tal como se introduce a continuación. El ordenamiento del llenado de los embalses será el siguiente, primero se llenará JC y luego NK, y el períodos de llenado de JC se iniciará en el mes de febrero (aguas altas) del año correspondiente. Durante dicho período se iniciará el llenado procediendo al bloqueo creciente de la obra de desvío hasta su cierre total, lo cual producirá un gradual incremento del nivel aguas arriba de la presa, dando origen al proceso de embalsado. Los caudales que escurrirán hacia aguas abajo de JC serán los requeridos para minimizar el impacto de los procesos bióticos a sostener para ese período en el tramo fluvial y en el estuario. Alcanzados los meses donde se da la presencia del Macá Tobiano en la zona del estuario, los caudales erogados aguas abajo de JC serán los naturales correspondientes que estuvieran ingresando al río desde el lago Argentino.

El proceso de llenado de NK seguirá la misma metodología descrita más arriba para JC, asegurando siempre que los caudales aguas abajo de JC verifiquen los condicionantes expuestos en el párrafo anterior.

Si bien el concepto de caudal ecológico continua ligado conceptualmente a la determinación de un valor de caudal mínimo que permita satisfacer un espectro de usos aguas abajo de una presa, para el caso de los aprovechamientos del río Santa Cruz este concepto será ampliado al de "*hidrograma ecológico o de sostenibilidad*" que corresponde a un enfoque que define un conjunto de caudales que resultan equivalentes al ecológico, pero cada uno para un mes distinto del año, respondiendo de esta forma a los requerimientos del régimen biológico y socioambiental en condiciones que, limiten fuertemente o erradiquen los posibles impactos a lo largo de un corredor fluvial y el estuario. Las condiciones de llenado de los embalses y de operación del sistema, serán definidas en base a este concepto de caudal ecológico ampliado.

El espectro de métodos de estimación de estos regímenes de caudales es amplio, aunque se destacan dos vertientes principales: una asociada al análisis del régimen histórico de caudales hidrológicos que se basa en la premisa que los diversos hábitats del sistema se

ajustaron a la historia de caudales que recorrieron el curso de agua. Los métodos derivados de este tipo de enfoque, que en general recurren a estimar series de caudales de estiaje de una cierta consecutividad, son relativamente simples (en cuanto a la información que requieren) pero no permiten evaluar con certeza el estrés que efectivamente causarán en el sistema por cuanto no resulta directa la inferencia retrospectiva de impacto a partir de las condiciones actuales de los hábitats bajo análisis; mucho más complejo aún es inferir el impacto que podría ocasionar una secuencia de estiajes, típica en los escenarios de llenado en épocas de potamofases.

La segunda vertiente de análisis pretende tener una base de relacionamiento físico (hidráulica) y natural (hábitats) a partir del desarrollo de relaciones funcionales entre parámetros hidráulicos y requerimientos de supervivencia de las especies. En contrapartida a la mayor riqueza analítica que sustenta este tipo de enfoque se tiene la complejidad de derivar las relaciones funcionales de hábitats para ríos de envergadura como el Santa Cruz, en los cuales se complejiza realizar un exhaustivo relevamiento hidrobatimétrico mediante vadeo del curso.

Como impacto adicional al que sufrirá el tramo fluvial aguas abajo de la presa se señala la importancia de velar por los requerimientos que deberán garantizarse en la desembocadura del río, de manera de preservar la dinámica estuarina del sistema.

## **5.7.4 CARACTERIZACIÓN Y TIPOLOGÍA DE LOS IMPACTOS ESPERADOS**

Se presenta a continuación la evaluación de los potenciales impactos ambientales descriptos, distinguiéndose su ocurrencia en la Etapa de Construcción y de Operación:

### **5.7.4.1 Etapa de Construcción**

#### **a) Desvío**

- Caudal de desvío: Las obras de desvío permitirán el pasaje de caudales del río de 50 años de recurrencia, con velocidades que superan ampliamente las velocidades del escurrimiento en el curso natural, provocando la erosión del cauce y un incremento en el transporte de sedimentos aguas abajo

El impacto sobre el régimen de caudales es Negativo con Intensidad Alta. La Extensión es Puntual para la zona directamente intervenida y su duración es temporal. Su probabilidad de ocurrencia es Alta.

**b) Llenado**

- Disminución de caudales en el tramo inferior: Durante el llenado del embalse los tramos aguas abajo de cada presa recibirán caudales inferiores a los correspondientes al ciclo natural en aquellos meses en los que la limitación/erradicación de los impactos lo posibilite. A partir del mes en el que se identifique el requerimiento de no afectación de los caudales naturales para la garantía de las condicionantes ambientales de sostenibilidad adoptados. Este análisis tendrá un acento de detalle en las condiciones del estuario del río Santa Cruz.

El impacto es Negativo con una Intensidad Baja. La Extensión es zonal (estimado en un valor máximo de 3km) la duración es Fugaz. Su probabilidad de ocurrencia es baja.

La formación del embalse por su parte eliminará el cauce fluvial existente que se transforma en un lago, en forma permanente y alterando la dinámica de sedimentación en el mismo.

#### **5.7.4.2 Etapa de Operación**

**a) Régimen de caudales en operación**

- Desaparición del cauce fluvial entre la cola del embalse NK y Presa de JC. La construcción de las presas definirá la inundación permanente del cauce y la formación de un sistema lacustre.

Este impacto es negativo con una Intensidad alta. La extensión es zonal y su persistencia es permanente.

- Operación en punta de la Central NK: Erogación de caudales mayores a los que ingresan (despacho empuntado) y no erogación de caudal durante las horas en las que no se turbinan en NK. Ambos efectos se producirán sobre el sistema lacustre entre ambas presas determinando la fluctuación de niveles del embalse.

El impacto es negativo con una intensidad baja. La extensión es zonal y su persistencia es permanente y de probabilidad Alta.

- Operación de la Central Cepernic: JC será operada como central de base, erogando caudales turbinados que respetarán la serie de caudales registrados en la estación hidrométrica Charles Fuhr. Sin embargo, la pérdida de atenuación y laminación en el

tramo embalsado tenderá a mantener caudales algo más elevados aguas abajo de Cepernic con relación a la situación natural.

El impacto es negativo con una intensidad leve. La extensión es zonal, su persistencia es permanente y su probabilidad Alta.

**b) Agradación en tramos superiores**

- Alteración del perfil de velocidades a lo largo del curso por el remanso originado por NK: Disminución de la actual tendencia erosiva en el curso del río que conducirá a la estabilización del umbral estructural en el Lago Argentino, por agradación.

El impacto es negativo con una Intensidad media. La Extensión es Zonal y la duración es permanente con probabilidad Alta.

- Sedimentación en el embalse y generación de delta progradante, elevación del nivel de base de los tributarios aguas arriba y formación de deltas locales en cursos afluentes permanentes

El impacto es negativo con una Intensidad media. La Extensión es Zonal y la duración es permanente con probabilidad Alta.

**c) Erosión aguas abajo de las presas**

- Fenómenos de erosión aguas abajo por atrape de sedimentos en embalses: Producirán la modificación del perfil longitudinal y de la sección transversal del curso:

Este impacto es Negativo con intensidad Baja. La Extensión es zonal circunscripta a un tramo de estimativamente 2km aguas abajo de la presa. La duración es permanente. Su probabilidad de ocurrencia es alta.



República Argentina - Poder Ejecutivo Nacional  
2017 - Año de las Energías Renovables

**Hoja Adicional de Firmas**  
**Informe gráfico**

**Número:**

**Referencia:** 5.07\_Hidrología e hidrosedimentología

---

El documento fue importado por el sistema GEDO con un total de 44 pagina/s.