

# ANÁLISIS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN PARA LOS EFECTOS DE LAS VARIACIONES INTRADIARIAS DE CAUDAL, PRODUCTO DE LA GENERACIÓN DE PUNTA

---

División de Desarrollo Sustentable  
Subsecretaría de Energía  
Ministerio de Energía

Diciembre 2015  
Concepción, Chile

*Informe elaborado en el marco del estudio “Análisis de medidas de mitigación para los efectos de las variaciones intradiarias de caudal, producto de la generación de punta”, encomendado por el Ministerio de Energía.*

*Las opiniones vertidas en este documento son de exclusiva responsabilidad del autor y no representan necesariamente el pensamiento del Ministerio de Energía.*



## Equipo de Trabajo

---

Claudio Meier, Ph.D.

Jefe de Proyecto

Dr.(c) Rodrigo López

Jefe Alternativo de Proyecto

---

Marcelo Araya

Mag. en Administración de Empresas

Gerardo Azócar

Doctor en Ciencias Ambientales

Patricio De la Puente

Ingeniero Civil Eléctrico

Paulina Flores

Mag. en Análisis Geográfico

Esteban Flores

Mag<sup>(c)</sup> en Ingeniería Civil

---

# Tabla de contenidos

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
1.1 Contexto general del estudio	2
1.2 Objetivos del Estudio	3
1.3 Criterios y consideraciones operacionales del sistema eléctrico	3
<b>2. Efectos del <i>hydropeaking</i> y su mitigación</b>	<b>8</b>
2.1 Metodología de análisis	8
2.2 Análisis de Charmasson y Zinke (2011)	9
2.3 Análisis de Baumann y Klaus (2003)	17
2.4 Impactos económicos y socioculturales del <i>hydropeaking</i>	22
2.5 Impactos del <i>hydropeaking</i> en Chile	41
<b>3. Ocurrencia de <i>hydropeaking</i> en ríos de Chile</b>	<b>43</b>
3.1 Metodología detallada de trabajo	43
3.2 Listado de ríos con <i>hydropeaking</i> potencial	56
3.3 Ejemplo del análisis cuantitativo del <i>hydropeaking</i>	60
3.4 Ocurrencia de <i>hydropeaking</i> en Chile	66
3.5 Percepción del <i>hydropeaking</i> en Chile	68
3.6 Síntesis de las externalidades del <i>hydropeaking</i> en Chile	99
<b>4. Medidas de mitigación</b>	<b>101</b>
4.1 Síntesis de medidas de mitigación	101
4.2 Legislación internacional sobre <i>hydropeaking</i>	104
4.3 Evaluación de posibles medidas de mitigación	108
4.4 Aceptación de las medidas de mitigación	139
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>156</b>
<b>6. Referencias</b>	<b>160</b>
<b>7. Anexos</b>	<b>164</b>
Anexo 1: Detalles para cada central	164
Anexo 2: Golsario de acrónimos y abreviaciones	323
Anexo 3: Objetivos del Estudio	324

# 1. Introducción

En este capítulo introductorio se entrega el contexto general que rodea al presente estudio. Luego, se enuncian sus objetivos, para finalizar con descripciones preliminares acerca del funcionamiento de los sistemas eléctricos, así como del rol que juega la hidroelectricidad en asegurar su estabilidad.

## 1.1 Contexto general del estudio

Todo sistema eléctrico sujeto a una demanda variable requiere contar con centrales de punta, que sean capaces de entregar potencia rápidamente, en los momentos de mayor consumo (horas "punta"). La alternativa más práctica y económica para generar de punta corresponde a la hidroelectricidad, ya que los equipos generadores de estas centrales tienen "rampas de subida" que pueden alcanzar los cientos de MW por minuto, es decir, pueden aumentar muy rápidamente la cantidad de energía que generan y entregan a la red, de modo de efectuar el seguimiento de la demanda. De hecho, en el caso del Sistema Interconectado Central (SIC) chileno, tal seguimiento se logra mediante unidades generadoras con control de frecuencia primario, ubicadas en 10 de las centrales hidroeléctricas más grandes del país (Tabla 1.1).

Esta gran ventaja de la hidroelectricidad se contrapone con un problema de la generación de punta: cuando se efectúa en centrales ubicadas sobre ríos, causa fuertes fluctuaciones de caudal, conocidas como *hydropeaking*, las cuales son a la vez impredecibles, bruscas, extemporáneas, y repetitivas. Bakken et al. (2012) plantean que típicamente:

- El caudal aumenta y luego disminuye más rápido que en el caso de procesos naturales
- Los cambios son mucho más frecuentes que en régimen natural
- El régimen de caudal alterado tiene periodicidad diaria, semanal y anual
- Los caudales máximos son menores que las típicas crecidas en el tramo
- (y, se agrega), los caudales mínimos pueden ser muy inferiores a los mínimos históricos

Por otra parte, si la central hidroeléctrica (CH de aquí en adelante) es de embalse, y éste se estratifica en la temporada cálida, entonces pueden sumarse fluctuaciones muy definidas de temperatura (conocidas como *thermopeaking*) a los pulsos de caudal, componiendo los impactos. El *hydro-* y el *thermopeaking* causan una serie de impactos sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas fluviales. Además, es sabido en el caso chileno que los pulsos de caudal causados por la generación de punta son un problema para los sistemas de riego, ya que muchos de éstos no cuentan con bocatomas automatizadas que puedan ajustarse a medida que fluctúa el río, de modo de seguir aduciendo el mismo caudal. También hay variados impactos económicos potenciales sobre otros usuarios del recurso hídrico y de los cuerpos de agua, así como de seguridad, por ejemplo sobre el ganado, o bien en el caso de pescadores deportivos.

La mejor medida que puede tomarse para generar con hidroelectricidad de punta, evitando sus efectos ambientales, es ubicar las centrales en aquellos lugares donde no causen tales impactos: entre dos lagos (o embalses) o bien entre un lago y el mar (típicamente un fiordo). La única forma de lograr esto es efectuando una planificación estratégica para la hidroelectricidad, a nivel nacional, tal como sugiere TNC (2013). El enfoque de las medidas de mitigación a desarrollar en el

presente estudio, sin embargo, es a la escala de la sustentabilidad de proyectos individuales, y no de una visión sistémica del desarrollo hidroeléctrico. Por cierto, esta aproximación proyecto por proyecto sería la requerida para abordar los impactos de las CHs existentes, que estén generando de punta.

Si bien hasta hace poco no se consideraba la operación al predecir impactos de centrales en evaluación ambiental, la Agenda de Energía (Ministerio de Energía, 2014) indica que un aspecto a analizar en detalle en el diagnóstico nacional de sustentabilidad de la hidroelectricidad corresponde a la “oscilación intradiaria de caudales producto de la generación de punta”. El presente estudio se enmarca dentro de esta estrategia.

## 1.2 Objetivos del Estudio

El estudio “Análisis de medidas de mitigación para los efectos de las variaciones intradiarias de caudal, producto de la generación de punta” tiene por objetivo general “Analizar las medidas de mitigación para los efectos de la oscilación intradiaria de caudales, producto de la generación de punta, aplicables al desarrollo hidroeléctrico de Chile.”

Sus objetivos específicos corresponden a:

1. Identificar cuántos ríos, representativos de Chile, sufren variaciones intradiarias de caudal, producto de la generación de punta
2. Identificar las medidas de mitigación o regulación que se aplican internacionalmente sobre los impactos de las variaciones intradiarias de caudal, producto de la generación de punta
3. Identificar cómo afectan, en general, las variaciones intradiarias de caudal producto de la generación de punta, a los demás usos competitivos dentro de una cuenca
4. Identificar el nivel de aceptación, en general, de las medidas de mitigación por parte de los desarrolladores de proyectos

## 1.3 Criterios y consideraciones operacionales del sistema eléctrico

Una característica de los grandes sistemas eléctricos es que la energía no puede ser almacenada. Esto implica que el operador o despachador del sistema (que en Chile corresponde a los Centros de Despacho Económico de Carga, comúnmente conocidos como CDEC) debe asegurar el equilibrio físico entre la oferta y la demanda energética en todo instante, i.e., compensar desbalances instantáneos debido a variaciones tanto en generación como en los consumos.

Para asegurar este equilibrio entre la oferta y la demanda de electricidad, el operador del sistema utiliza procedimientos largamente presentados por la literatura, denominados pre-despacho y despacho económico de carga. Estos dos trabajan sobre la base de un mismo principio, pero en ventanas temporales diferentes. En ambos casos, se determina cuál es la operación combinada de las unidades de generación (es decir, turbinas en las distintas centrales) disponibles que permite un uso técnica y económicamente óptimo de los recursos del sistema.

Es así como se introducen conceptos tales como la lista de mérito, que está compuesta por el orden jerárquico de las unidades de generación, en función a sus curvas de costos de producción, en un orden creciente. Ello permite despachar, es decir, ir supliendo la demanda con unidades de costos en un principio considerados bajos, y en la medida que ésta crece, incorporando unidades con costos cada vez superiores. De manera general, para los diferentes escenarios de operación, se realiza un orden de las diferentes centrales y/o unidades, considerando el tipo de tecnología involucrada en cada una, y se genera un mercado spot (esto es, de corto plazo, en que el precio de la electricidad queda determinado por el balance entre la oferta y la demanda) para suplir la demanda del sistema.

Ahora bien, la operación o despacho real de los principales sistemas interconectados nacionales difiere comúnmente del simple criterio de lista de mérito por costo. Ésta se ve afectada por consideraciones operacionales tales como el cumplimiento de los estándares que se encuentran definidos por la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, para la seguridad del sistema eléctrico. Para el desarrollo de sus funciones, tanto frente a eventos programados como imprevistos, adicionalmente se consideran servicios complementarios. El *expertise* desarrollado por los operadores se refleja también en la incorporación de criterios “históricos” de despacho, asociados al potencial de energía de los distintos afluentes, según el año hidrológico. Las mencionadas consideraciones de seguridad de la red, o bien hidrológicas, son sólo algunos de los aspectos que van modificando el despacho por lista de mérito, convergiendo a las consignas encontradas en la operación real del sistema, i.e., las decisiones de cuánto y cuándo debe inyectar cada una de las unidades presentes en cada instante.

Durante la operación normal de un sistema eléctrico, independiente que puedan existir patrones estacionales o intradiarios reconocibles, se produce una variabilidad aleatoria de la demanda. Para cubrir dicha variación se toman los resguardos necesarios, a través de sistemas que permiten que una unidad, o un grupo de éstas, vayan aportando lo requerido por el sistema en el caso que aumente la demanda, o vayan reduciendo rápidamente su inyección en el caso que ésta se reduzca. Por otra parte, en una condición de operación bajo falla, sea de transmisión (se cae una torre) o generación (se bloquea una turbina), el sistema debe poseer los resguardos necesarios para que la falla no se propague por toda la red. Por ejemplo, en el caso de que algún elemento del sistema falle intempestivamente, éste debe tener la capacidad de seguir funcionando. Algunos de los mecanismos utilizados para esto son los criterios de reserva energética para el Control Primario y Control Secundario de Frecuencia (que serán explicados más adelante), así como el criterio N-1.

A continuación se mencionarán sólo algunos criterios relevantes de las consideraciones operacionales que las respectivas Direcciones de Operación de los CDEC deben realizar *ex-ante* (es decir, basándose en predicciones) y en tiempo real, que afectan la operación del sistema eléctrico.

### 1.3.1 Criterios de pre-despacho y despacho

A continuación se menciona el criterio de despacho considerando el costo de operación y tecnología, el cual es utilizado tanto en el Sistema Interconectado Central (SIC) como en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING).

- **Principio de despacho para Energías Renovables No Convencionales (ERNC):** Dentro del mercado spot, están presentes en primer lugar de la lista de mérito, debido a que utilizan recursos energéticos abundantes y renovables, de precio nulo. Su costo de operación, en consecuencia, de manera relativa, puede asumirse como cero.

Todas las unidades consideradas entran en el despacho, por lista de mérito. La potencia despachada por unidad, respecto de su potencia nominal, depende de la cantidad de energía primaria de la que disponga en los horarios considerados para su participación. Lo anterior es aplicable tanto a potencia foto-voltaica como potencia eólica, irradiación solar y viento, respectivamente.

- **Principio de despacho para hidroeléctricas:** Este tipo de tecnologías, dentro del mercado spot, posee una participación relevante en lista de mérito debido a sus características propias. La energía obtenida en estas centrales se deriva a partir de los flujos superficiales de agua, siendo un recurso renovable, eficiente, confiable y limpio. Además posee bajos costos de operación y mantenimiento.

La hidroelectricidad tiene consideraciones especiales en el sistema eléctrico a nivel nacional, debido a la rápida respuesta o cambio de velocidad de sus unidades generadoras, la cual es primordial frente a un desbalance y/o contingencia en el sistema eléctrico. Si bien es cierto que prácticamente la totalidad de las unidades que poseen esta tecnología pertenece al SIC, es importante destacar la interconexión proyectada de los sistemas SIC-SING. Esto les daría una importancia aún mayor a la que ya tienen a las unidades generadoras hidroeléctricas, al tener que darle mayor "espalda" al SING.

- **Principio de despacho para termoeléctricas:** Este tipo de tecnologías, dentro del mercado spot, poseen una mayor participación en el norte del país - SING - por lista de mérito y disponibilidad de tecnologías. La energía obtenida de estas centrales se deriva a partir de combustibles, y proporcionan confiabilidad energética. Por otra parte, sus costos de operación y mantenimiento son elevados.

Las unidades termoeléctricas presentes y participantes en la lista de mérito son despachadas a potencia máxima. Sólo si es necesario (confiabilidad y reserva) esta potencia puede variar.

### 1.3.2 Energía de afluentes - año hidrológico (caso SIC)

La importancia operacional de las centrales hidroeléctricas para el SIC es indiscutible, sobre todo de las de embalse, ya que pueden seguir generando durante las estaciones secas, o incluso, en el caso de los embalses de mayor tamaño, durante años secos enteros. Por lo anterior, los criterios para despachar este tipo de unidades deben determinarse cuidadosamente. Existe un criterio "histórico" del despacho ejercido por el CDEC-SIC, para años con distinta excedencia hidrológica. Sobre la base de un registro de las energías afluentes reales en los últimos 53 años hidrológicos, y en función a la energía afluente, tanto disponible como estimada, se determina el año de hidrología más representativa de la condición operacional actual. La Probabilidad de Excedencia (PE) corresponde al porcentaje de años de la muestra que son más húmedos que el actual. Es



decir, PE superiores a la mediana (50%) representan años relativamente secos, mientras que valores inferiores al 50% corresponden a años relativamente húmedos.

A través de esta vía, mediante el concepto de Excedencia Hidrológica, entre otros elementos operacionales y/o de planificación, se genera una política de lagos y embalses que será utilizada para la definición del Despacho Hidrotérmico para el SIC, para un año dado. Es decir, según sea la excedencia hidrológica determinada (qué tan seco se prevé que sea el año en cuestión), se adoptarán políticas diferenciadas para el uso del recurso primario agua, para cada escenario de operación real del sistema.

### 1.3.3 Reserva en giro y unidades con control de frecuencia

Al ocurrir un desbalance o desajuste entre la oferta y la demanda de electricidad, por cualquiera de los motivos antes indicados, los generadores aceleran o deceleran, causando que la frecuencia del sistema (50 Hz en Chile) ya sea aumente o disminuya. Si la frecuencia se sale de un rango predeterminado, el operador del sistema deberá actuar, sea agregando o disminuyendo la generación o la carga.

La reserva en giro es necesaria para poder compensar tales desbalances y/o contingencias que pudiesen ocurrir en cualquier instante. Se refiere a aquella capacidad de generación "extra" que está disponible muy rápidamente, aumentando la potencia de generación de unidades que ya están funcionando ("girando") y entregando energía al sistema. Para establecer una reserva en giro, se considera un grupo selecto de unidades disponibles, que pueden otorgar el respaldo necesario, siendo a su vez un subgrupo de tales unidades las que actuarían en primera instancia mediante la habilitación de su control primario de frecuencia (CPF).

El control de frecuencia se define como aquel conjunto de acciones destinadas a mantener la frecuencia de operación en torno a una banda predefinida, para posteriormente re-establecer la frecuencia de referencia del sistema eléctrico (50 Hz), corrigiendo las variaciones que se pudiesen presentar entre la potencia demandada y la potencia generada debido a desbalances y/o contingencias.

Tanto para el SIC como para el SING, el control de frecuencia puede clasificarse en Control Primario y Control Secundario de Frecuencia:

- **Control Primario de Frecuencia:** Considera la participación de un subconjunto de las unidades generadoras sincrónicas las cuales, a través de la acción de sus controladores de carga/velocidad modifican en forma automática su producción energética, con el objetivo de sostener/mantener en un rango de banda predeterminado las desviaciones de frecuencia que pudiesen producirse debido a un desbalance y/o contingencia en el sistema.

Para el SIC, si bien de la totalidad de las unidades generadoras se considera un grupo de unidades generadoras con CPF, es a su vez un subgrupo de éstas el que está destinado a realizar este control – las centrales hidroeléctricas – ya que son éstas las que pueden entregar una rápida respuesta frente a un desbalance energético. Las centrales con CPF activado se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Unidades SIC habilitadas con Control de Frecuencia Primario activado

Central Hidráulica
El Toro
Antuco
Abanico
Canutillar
Cipreses
Colbún
Machicura
Pehuenche
Pangue
Ralco

Para el SING en cambio, el CPF puede ser realizado por todas las unidades generadoras sincrónicas, exceptuando aquellas con tecnología turbo-vapor, definiendo criterios de operación específicos para cada una de ellas, de forma de actuar en conjunto frente a un evento no deseado en su sistema. A este esquema de operación se le denomina CPF distribuido.

- **Control Secundario de Frecuencia (CSF):** Corresponde a una acción manual posterior a la acción del CPF. El CSF está encargado de restablecer la frecuencia normal del sistema eléctrico, así como la reserva de giro, mediante el posible uso de la totalidad de las unidades generadoras, o de las que sea necesario, a través de la modificación de su despacho energético hacia el sistema, esto considerando el orden económico según su tecnología en el despacho. En el CSF no participan aquellas unidades generadoras que tuvieron participación en el CPF.

Con la implementación del CSF, se permite a las unidades que han participado en el CPF volver gradualmente a sus valores normales de despacho energético del sistema, quedando así preparadas (es decir, con su reserva en giro disponible) frente un eventual nuevo desbalance y/o contingencia en el sistema. Esta definición rige tanto para el SIC como el SING.

## 2. Efectos del *hydropeaking* y su mitigación

Este Capítulo guarda relación con el Objetivo Específico 2 del estudio, cuya meta corresponde a identificar las medidas que se aplican internacionalmente para evitar, minimizar o mitigar los efectos de la generación de punta.

Las fluctuaciones de caudal y temperatura involucradas en el *hydropeaking* (y el *thermopeaking* concomitante) causan una serie de impactos ambientales, revisados, entre otros por Cushman (1985), Moog (1993), Lauters (1995), Sabaton *et al.* (1995), Valentin (1997), Halleraker *et al.* (1999), Steele y Smokorowski (2000), Baumann y Klaus (2003), Zolezzi *et al.* (2011), Bakken (2012), Person (2013), y Courret (2014). La gran mayoría de esta literatura se limita a los cambios hidrológicos y sus efectos ecológicos sobre peces, invertebrados y, en algunos casos, vegetación ribereña.

En cuanto a las medidas de mitigación, varios estudios han efectuado recomendaciones para disminuir los impactos, o bien han sintetizado la literatura existente, como los de Sabaton *et al.* (1995), Valentin (1997), Gibbins y Acornley (2000), Halleraker *et al.* (2007), Heller y Schleiss (2011), y Charmasson y Zinke (2011). Por otra parte, son menos aquellos trabajos que relatan experiencias reales de mitigación, en que se testearon medidas de mitigación para los impactos del *hydropeaking*, verificando luego su efectividad. Entre éstos se cuentan los de Travnichek *et al.* (1995), Connor y Pflug (2004), Patterson y Smokorowski (2010), Harnish *et al.* (2014), y Courret (2014).

### 2.1 Metodología de análisis

La búsqueda de bibliografía internacional respecto de los impactos ecológicos del *hydropeaking*, y su mitigación, se centró inicialmente en torno a tres revisiones relativamente recientes y completas del tema, que se listan a continuación. Sobre la base de estos trabajos, y de las citas en ellos contenidas, se usó la herramienta de búsqueda académica Google Scholar, para identificar trabajos más recientes que los citaran. En todo caso, considerando lo profunda que es la revisión bibliográfica del trabajo de Courret (2014), así como lo reciente, es difícil pensar que se pudiese encontrar mucho más material relativo a los impactos ecológicos del *hydropeaking*, así como a las posibles medidas de mitigación.

Los dos primeros de estos tres trabajos sobre los impactos ecológicos del *hydropeaking*, citados a continuación, se analizan en detalle más adelante, en este Informe:

1. El informe "Mitigation Measures against Hydropeaking Effects", 2011, por Julie Charmasson y Peggy Zinke, de Sintef *Energy Research*, Trondheim, Noruega, 51 pp.
2. El estudio bibliográfico "Conséquences Écologiques des Éclusées" (consecuencias ecológicas del *hydropeaking*), 2003, por Peter Baumann e Iris Klaus, del *Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage* (OFEV - Agencia Federal Suiza del Ambiente, los Bosques y el Paisaje), Berna, Suiza, 112 pp.
3. La tesis doctoral "Problématique des Impacts de la Gestion par Éclusées des Aménagements Hydroélectriques sur les Populations de Poissons: Caractérisation des Régimes d'Éclusées et du Niveau de Perturbation Hydrologique" (problemática de los impactos sobre las poblaciones de peces por operación hidroeléctrica con *hydropeaking*:

caracterización del *hydropeaking* y del nivel de perturbación hidrológica), Diciembre 2014, por Dominique Courret, Universidad de Toulouse, Toulouse, Francia, 218 pp.

Mucho más difícil fue encontrar literatura respecto de los posibles impactos económicos y socioculturales del *hydropeaking*. Se efectuaron muchas búsquedas directas, con palabras clave, pero se encontró poco material relevante. Por otra parte, se recordó que estas temáticas suelen abordarse en la literatura (mucho más general) de gestión integrada de recursos hídricos, y también acerca de métodos holísticos para determinar regímenes de caudales ambientales. Sin embargo, tras revisar ambos temas, se verificó que esta literatura toma en cuenta aspectos humanos, tanto económicos como socioculturales, pero típicamente sólo considera aquellos relacionados con modos de vida de subsistencia, a lo largo de los corredores fluviales, típicamente para el caso de países en desarrollo. Lamentablemente, al intentar buscar partiendo desde documentos clave en estas temáticas, no se logró encontrar material enfocado específicamente al tema del *hydropeaking*.

Finalmente, y sólo tras buscar con términos-clave en francés, se logró identificar dos grupos de trabajo en este tema: la Agencia de Cuenca del Río Dordogne (EPIDOR, 1999 y 2001; Faure, 2000), y el Laboratorio de Construcciones Hidráulicas del Instituto Politécnico Federal de Lausanne, en Suiza (Heller y Schleiss, 2011; Bieri, 2012). El primero se basa en datos levantados en terreno, mientras que el segundo hace referencia a simulaciones, por lo que el análisis se centró en los trabajos de EPIDOR.

En cuanto a publicaciones que aborden los impactos del *hydropeaking* para el caso chileno, éstas son muy escasas y sólo una de ellas, relativa a los efectos sobre el hábitat de peces, está basada en levantamiento de datos o estudios en terreno.

A continuación, respecto de los impactos ecológicos y su mitigación, se revisa exhaustivamente el trabajo de Charmasson y Zinke (2011), y luego se analiza brevemente el de Baumann y Klaus (2003). En efecto, a pesar de ser más reciente, se encontró que Charmasson y Zinke (2011) es una revisión más superficial que la de Baumann y Klaus (2003) en lo que se refiere a los impactos ambientales del *hydropeaking*. Por ello, para tener una visión más amplia, se decidió tomar a ambos trabajos combinados como punto de partida para el estado del arte sobre *hydropeaking*, sus impactos ecológicos y su mitigación.

Para la parte de los impactos socioeconómicos, se hace luego un análisis profundo de los trabajos de EPIDOR (1999, 2001) y Faure (2000) en la cuenca del río Dordogne, en Francia. Finalmente, se hace una breve reseña de las publicaciones chilenas sobre el tema del *hydropeaking*.

## 2.2 Análisis de Charmasson y Zinke (2011)

### 2.2.1 Traducción del resumen

“El *hydropeaking* consiste de variaciones en los caudales y cotas de agua debido a las entregas de agua embalsada con el fin de generar electricidad según la demanda del mercado. Estas fluctuaciones artificiales resultan en variaciones frecuentes y rápidas de la magnitud del caudal, velocidad del agua, profundidad de escurrimiento, temperatura del agua, perímetro mojado y del transporte de sedimento, las cuales pueden afectar

también a la morfología del cauce. Tales cambios pueden causar degradación de las condiciones físicas y de los hábitats en los ecosistemas locales, lo cual afecta directamente a las comunidades biológicas de los ríos.

Pueden usarse medidas de mitigación para mejorar el estado ecológico de ríos y lagos impactados por *hydropeaking*. Éstas se clasifican en tres tipos distintos. Las medidas operacionales restringen la operación de la central hidroeléctrica, fijando umbrales para las entregas de agua al cauce; las medidas constructivas involucran obras hidráulicas, como piscinas de retención [llamadas contraembalses en Chile]; y las medidas *in-situ* corresponden a trabajos de restauración o mantenimiento ejecutados en el mismo cauce del río. Las medidas de mitigación son sitio-específicas, por lo que siempre deben ejecutarse investigaciones locales para asegurarse que su implementación sea exitosa. Además, debe llevarse a cabo monitoreo de largo plazo y evaluaciones sistemáticas, durante y después de completar proyectos de rehabilitación, de modo de comprender los beneficios logrados sobre los ecosistemas locales. Esta revisión de la literatura reúne ejemplos de medidas de mitigación implementadas en variados países para mitigar los impactos negativos del *hydropeaking*. Los ejemplos se clasifican en una tabla, y se seleccionan según sea el objeto de las distintas medidas."

## 2.2.2 Resumen comentado de Charmasson y Zinke (2011)

El informe está articulado en cinco capítulos, los que cubren: 1. Contexto del *hydropeaking* y su mitigación; 2. Medidas de mitigación: definiciones y requerimientos; 3. Ejemplos de medidas de mitigación; 4. Medidas de mitigación en Noruega; 5. Lista (no-exhaustiva) de medidas de mitigación en el mundo.

### 2.2.2.1 Contexto del *hydropeaking* y su mitigación

El primer capítulo inicia con una reseña histórica del desarrollo hidroeléctrico, enfatizando el amplio potencial aún disponible a nivel mundial. Luego se mencionan las ventajas que tiene la hidroelectricidad para el seguimiento de la demanda fluctuante, y se define *hydropeaking* siguiendo a Moog (1993) como "las entregas de caudal embalsado para generar electricidad según las variaciones en la demanda del mercado". Luego se describe brevemente algunos de los impactos abióticos y bióticos causados por la liberación de caudales para generación de punta, concluyendo que la consecuencia final suele ser una biota acuática empobrecida, que consiste de un número reducido de especies, menor biomasa, diversidad reducida, y cambios en la composición de las comunidades.

Luego, se definen indicadores para caracterizar el *hydropeaking*, iniciando por los parámetros que describen el régimen de caudales. En términos de la escala de magnitud, tales parámetros cubren la magnitud propiamente tal (esto es, el caudal), las tasas de subida y de bajada ("*ramping rates*"), y las razones entre caudales máximos y mínimos. Para incorporar la escala del tiempo, se considera además el "*timing*" (momento de ocurrencia), la periodicidad, la duración y la frecuencia de los eventos. El trabajo ejemplifica brevemente qué tipos de índices pueden usarse para representar tales características. Finaliza este acápite indica que tanto los valores promedio como los instantáneos proveen información relevante para evaluar los impactos biológicos.

A continuación se discute brevemente la complejidad del sistema fluvial, así como las interacciones entre los distintos parámetros abióticos (morfología, calidad del agua, régimen de caudales) y bióticos (organismos acuáticos, vegetación en el cauce y riberas, hábitats, etc.) que lo determinan. Por ello, se enfatiza que no basta con describir el *hydropeaking* solamente desde el punto de vista hidrológico para caracterizar el fenómeno; se requiere incorporar también "indicadores de función biótica", que describan los impactos de las variaciones de caudal sobre los hábitats y las actividades de los organismos, así como "indicadores de estructura biótica", que reflejen los impactos sobre la composición de la comunidad. Se menciona sumariamente que hay muchos de tales indicadores bióticos, y que debe escogerse un conjunto relevante para cada estudio, según la especificidad del sitio. Los indicadores de estructura biótica más usados son la biomasa, la frecuencia/densidad de organismos, y la composición y diversidad. Por su parte, los indicadores de función biótica más usuales en estudios de *hydropeaking* son la deriva [el que los organismos acuáticos, sobre todo los invertebrados, se dejen llevar por la corriente hacia aguas abajo], la varazón de organismos, su nivel de actividad y comportamiento, y su reproducción.

En la Sección siguiente, se discute la degradación generalizada de los ecosistemas fluviales, y la necesidad de protegerlos, indicando algunas de las leyes clave que se han pasado en ese sentido (la "Clean Water Act" de EEUU, 1972, y la Directiva Marco del Agua europea, 2000). Se menciona la posibilidad de implementar medidas de mitigación para mejorar la situación ecológica de los ríos afectados por las fluctuaciones causadas por generación de punta, intentando restaurar, o más comúnmente rehabilitar los ecosistemas acuáticos. Se indica correctamente que proyectos hidroeléctricos realmente sustentables debieran ir acompañados, de manera anticipada, de todos los estudios de sus potenciales impactos ambientales y sociales, en la fase de planificación, de modo de evitar, mitigar o compensar los impactos desde el inicio del proceso. Hoy, en la mayoría de los casos, las medidas de mitigación se desarrollan *a posteriori*.

La última sección del Capítulo 1 introduce los requerimientos que deben considerarse al planificar proyectos de mitigación de los impactos negativos de la hidroelectricidad, en general, y del *hydropeaking*, en particular. Los cinco dominios ecológicos del sistema fluvial que deben investigarse en cada caso son: (i) carácter hidrológico, (ii) conectividad, (iii) sedimentos y morfología, (iv) paisajes y hábitats, y (v) comunidades. Dentro de cada uno de estos campos, hay requerimientos básicos para mitigar los impactos negativos del *hydropeaking*, relacionados con el régimen hidrológico del río (frecuencia de las crecidas, magnitud, tasas de cambio), la calidad del agua (que no hayan efectos críticos de la temperatura, polución, o falta de oxígeno disuelto, etc.), que no queden aislados peces y otros organismos fuera del cauce principal, preservación de la vegetación ribereña y las planicies de inundación, y sustentabilidad de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y peces (en relación a varazones, lugares de desove, hábitats de juveniles, etc.). Se menciona también dos aspectos más relevantes desde el punto de vista económico: preservar la función y el valor recreacional del río, y asegurar la estabilidad de sus riberas.

### 2.2.2.2 Medidas de mitigación: Definición y requerimientos

Los ríos afectados por *hydropeaking* pueden ser extremadamente distintos los unos de los otros, cubriendo amplios rangos de tamaños, pendientes, materiales, estilos morfológicos, etc. Por ello, se enfatiza que siempre deben llevarse a cabo estudios locales, de modo que las potenciales medidas de mitigación están adaptadas al tramo considerado. Por otra parte, la necesidad de

mitigar impactos puede fluctuar estacionalmente; por ejemplo, el uso recreacional puede ser mínimo en invierno, o bien pueden haber peces que desoven o migren en algunos momentos específicos del año. Los tipos de medidas dependen del objetivo ecológico; por ejemplo, si se desea evitar la varazón de peces, puede bastar con limitar las tasas de subida y de bajada durante los eventos de *hydropeaking*, de modo de permitirles a los peces llegar a sus refugios.

Charmasson y Zinke (2011) dividen las medidas de mitigación en tres tipos principales: (1) medidas operacionales, (2) medidas constructivas, y (3) medidas de compensación y mantención [llamadas "medidas *in-situ*" en el abstract].

Las medidas operacionales imponen restricciones de operación al funcionamiento de la central. Las más comunes intentan atenuar la magnitud de los *peaks* (la razón entre caudal máximo y mínimo), disminuir las tasas de subida y bajada (*ramping rates*), o bien mantener un mayor caudal mínimo durante los momentos críticos entre eventos. Con estas medidas se espera evitar o minimizar las consecuencias más directas del *hydropeaking*, como la varazón de peces, la deriva de macroinvertebrados, y la reducción en la disponibilidad y diversidad de hábitats de peces. Los valores umbral (de la razón de caudales, tasas de subida y bajada, o caudal mínimo) deben determinarse a partir de estudios locales, en el tramo afectado. Las medidas operacionales causan pérdidas económicas al restringir la operación, limitando las tasas de subida y bajada, o los caudales mínimos.

Las medidas constructivas, que podrían tal vez llamarse "estructurales", se refieren a construir obras hidráulicas tales como contraembalses, cauces adicionales para entregar caudales en lugares específicos del cauce, cavernas de almacenamiento, canales para permitir el paso de embarcaciones, estructuras de toma a múltiples profundidades en embalses, etc. Su objetivo es reducir las fluctuaciones de caudal, por ejemplo acumulando las aguas turbinadas antes de liberarlas continuamente al cauce, o bien de temperatura del agua. Estas medidas son costosas, puesto que involucran construir estructuras que son típicamente de gran tamaño.

Las medidas de compensación y mantención se refieren a trabajos de renovación dentro del cauce, modificando sus características, medidas de protección contra la erosión, o bien programas de compensación para reponer hábitats perdidos (por ejemplo, programas de repoblamiento con juveniles). El trabajo menciona una serie de ejemplos de tales medidas, pero en los hechos ninguna tiene una relación clara ni directa con los efectos del *hydropeaking*; se trata más bien de las típicas medidas generales preconizadas para proyectos de restauración o renaturalización fluvial.

Se discute luego la necesidad de monitorear y evaluar los esquemas de mitigación, entregando indicadores para medir su efectividad, y mencionando que hay carencia de estudios de literatura al respecto. Toda esta sección se sigue refiriendo a esquemas de rehabilitación fluvial de carácter general, no a medidas enfocados específicamente a la problemática del *hydropeaking*.

La última sección del Capítulo 2 es relevante para los efectos del presente estudio, puesto que trata de los costos económicos de las medidas de mitigación. Se menciona que las restricciones operacionales sobre caudales mínimos o máximos y tasas de subida y bajada pueden tener un fuerte impacto en la productividad de las centrales, al reducir su flexibilidad para seguir la demanda (la cual es justamente la gran contribución de la hidroelectricidad a los sistemas eléctricos). Se indica que "los cálculos de las pérdidas económicas debidas a ajustes operacionales

para ajustarse a requisitos ecológicos están casi ausentes de la literatura científica, pero pueden encontrarse en informes técnicos de las generadoras". Se entrega un ejemplo francés.

Las medidas constructivas, por su parte, tienen bajo impacto sobre la operación de una central, ya que se ubican a su salida. Por ello, no se ve afectada la productividad de la planta, pero los costos de construir y equipar contraembalses, túneles o canales pueden ser altos. Se entregan un par de ejemplos de Suiza, EEUU, y Australia. Se menciona a Schleiss (2009), quien indica que aunque las inversiones en estructuras pueden ser elevadas, son preferibles desde una perspectiva económica en comparación con las medidas operacionales, ya que éstas últimas causan pérdidas económicas continuadas.

Las medidas de restauración *in-situ* tienen costos mucho menores que las anteriores, pero tienen vida útil menor. Además, estas últimas medidas sólo mitigan localmente, en el tramo donde se construyen, al contrario de las medidas operacionales y constructivas, que aplican sobre todo el tramo hacia aguas abajo de una central.

### 2.2.2.3 Ejemplos de medidas de mitigación

En este capítulo se entregan ejemplos documentados de la implementación de medidas de mitigación, en Austria y en Francia. El ejemplo francés es el mismo que se desarrolla luego en detalle en la Sección 2.4 del presente Informe, basándose en los trabajos de EPIDOR (1999, 2001) y Faure (2000).

En el ejemplo austriaco, se construyeron contraembalses para reducir la magnitud de las fluctuaciones, que inicialmente tenían una razón  $Q_{\max}/Q_{\min}$  de 60:1. La fauna de peces e invertebrados estaba fuertemente afectada por el *hydropeaking*: comparaciones de la biomasa de peces entre tramos de aguas arriba, sin efecto, versus los de aguas abajo, mostraban una disminución desde 45 kg/ha a sólo 3 kg/ha, con efectos similares para los macroinvertebrados. Tras construir los contraembalses, que estaban asociados a una nueva central de pasada, la razón de caudales pasó a 60:20:3 (se implementó un esquema gradual con *pre-peaking*, de modo de "advertirle" a los organismos), y además se disminuyeron notablemente las tasas de subida. Con estos cambios, la biomasa de invertebrados benthicos aumentó en cuatro veces, aunque no se observó un efecto significativo en los peces.

El ejemplo francés, analizado detalladamente en el Acápito 2.4 de este Informe, es relevante porque incorpora criterios relacionados con otros usos y usuarios del río. Se refiere a la cuenca del río Dordogne, donde hay 52 presas, con almacenamiento de 11000 hm<sup>3</sup>, y 28 centrales hidroeléctricas, con capacidad de 1800 MW. Se identificaron una serie de impactos debidos al *hydropeaking*: impactos directos sobre la fauna (secado de lechos de desove, entrapamiento en pozones y varazón, deriva de invertebrados y alevines), impactos ecosistémicos globales (cambios morfológicos, en la vegetación, en la carga de fondo), e impactos recreacionales (pesca, natación, dificultad de acceso, peligros para *kayaking*).

Tras 15 años de observaciones y estudios, se logró un acuerdo entre la generadora y varios servicios públicos locales, el cual define requerimientos mínimos que deben cumplirse para mitigar los impactos de la regulación de caudales. Incorpora medidas operacionales (magnitud y tasas de subida y bajada que deben respetarse), así como una serie de obras *in-situ*. Los valores de caudal a



especificar dependen de la estación del año, reflejando los ciclos biológicos de las especies locales, y las medidas son específicas para distintas zonas geográficas (esto es, tramos de río) dentro de la cuenca.

Dos medidas específicas tienen que ver con impedir el secado de lechos de desove. Para ello se subió el valor del caudal mínimo entre eventos de *peaking*, y en algunos lugares se reperfiló el fondo del río de modo de profundizar estos lechos. Para evitar el entrapamiento de alevines de salmónidos, durante su etapa de migración, se especificaron caudales máximos a no superar durante ese período. En otros lugares donde se siguió observando alta mortalidad, se ejecutaron trabajos de reperfilado del lecho, eliminando pozones para evitar el entrapamiento.

#### 2.2.2.4 Medidas de mitigación en Noruega

Tras mencionar lo importante que es la hidroelectricidad en Noruega, se detallan varios estudios y publicaciones pioneros en cuanto a mitigación. En 1990 se desreguló el sector eléctrico en Noruega. Las diferencias de precio entre día y noche, y la posibilidad de exportar electricidad, resultaron en cambios en los patrones de producción, causando mayores impactos por *hydropeaking*. Una serie de proyectos ejecutados en centros de investigación y universidades (NINA, NIVA, NTNU, Sintef, etc.) resultaron en variadas publicaciones sobre:

- (i) efectos, costos, y aceptación pública de medidas de mitigación como espigones, pasos para peces, caudales mínimos, y proyectos de "mejoramiento" de hábitat;
- (ii) efectos de centrales pequeñas sobre el paisaje, la flora y la fauna;
- (iii) efectos de la regulación de caudales sobre las especies vulnerables y la diversidad biológica;
- (iv) efectos ambientales del *hydropeaking*;
- (v) modelos y métodos para la mitigación.

Sin embargo, este vasto material tiene limitaciones en cuanto a su uso en el presente estudio y su aplicabilidad general al caso chileno: por un lado, en su enorme mayoría está en idioma noruego, y por otro, no hace sólo referencia a los impactos del *hydropeaking*, ya que los ríos noruegos habían sido ampliamente impactados con anterioridad por la actividad agrícola y maderera, los esquemas de canalización, las obras para el control de las crecidas y de la erosión, etc.

En cuanto a medidas operacionales, en relación con el tema del *hydropeaking*, sólo se menciona la reducción de las tasas de subida y bajada, indicando que se disminuyen las varazones si la bajada ocurre de noche, y con ciertas temperaturas específicas.

Las medidas constructivas hacen referencia a que la mayor parte de las centrales que practican *hydropeaking* en Noruega restituyen sus aguas en lagos o fiordos, donde los efectos de los pulsos de caudal y temperatura son despreciables. En aquellas que liberan en ríos, se usan contraembalses (piscinas de retención), para prevenir los impactos negativos.

Se menciona también una serie de medidas "*in-stream*", o sea, ubicadas *in-situ* dentro del cauce, para minimizar impactos. Dentro de éstas está la construcción de azudes de piedra sumergidos ("*groundsills*"), para mantener las cotas del agua y mejorar el hábitat durante los períodos de valle.

También se mencionan los campos de espigones, la ubicación de conjuntos de bolones, el reperfilado del lecho, y la excavación de pozones. En general, ninguna de estas medidas es específica para los impactos del *hydropeaking*. Corresponden más bien a las típicas técnicas de restauración fluvial estructural, para cauces que fueron canalizados o rectificadas en el pasado.

A continuación, se entrega mayor detalle respecto de cómo el limitar las tasas de cambio del caudal permite impedir la ocurrencia de varazones, un tema que ha sido ampliamente estudiado en Noruega. La literatura sobre varazón de truchas y salmones apunta a entregar recomendaciones para las generadoras, de modo que puedan reducir la mortalidad por varazones. Los factores más importantes para estos salmónidos son la temperatura del agua, el mes del año, y las condiciones de luz, así como el material del lecho.

La recomendación clave respecto de las *ramping rates* es que las bajadas de caudal ocurran de noche durante todo el año, y que las tasas de bajada de la cota del agua no superen los 10 cm/h. En ríos con sustrato muy grueso (bolones), o bien en aquellos casos en que el caudal ha estado estable por varios días, se recomiendan tasas de bajada aún menores.

### 2.2.2.5 Listado de medidas de mitigación a nivel mundial

El último capítulo de este informe corresponde a un listado de las distintas medidas de mitigación propuestas en la literatura mundial [basado en gran medida en un listado similar de Baumann y Klaus, 2003, pero el de Charmasson y Zinke, 2001, es mucho más exhaustivo]. Se vuelve a enfatizar acá que cada río es único, por lo que toda medida debe modificarse y adaptarse para resolver localmente los problemas.

Este listado resume revisiones anteriores (sobre todo Baumann y Klaus, 2003), literatura científica, y también informes técnicos ya sea de compañías generadoras o de agencias públicas locales o nacionales. El énfasis está en Europa y Norteamérica.

Las medidas de mitigación son las siguientes, separadas en ocho grandes grupos:

#### 1. Evitar las variaciones de caudal y de cota:

- Descargar separadamente la totalidad o parte de los caudales turbinados, por ejemplo hacia un lago, un río de mayor tamaño, o bien una piscina de detención
- Proteger ríos con alto nivel de conservación de modo que no ocurra *hydropeaking*
- Detener la generación hidroeléctrica de punta

#### 2. Reducir la magnitud de las fluctuaciones de caudal y de cota:

- Incrementar el caudal mínimo o ecológico liberado hacia el tramo de aguas abajo
- Disminuir el caudal máximo de operación
- Incrementar  $Q_{min}$  y disminuir  $Q_{max}$  simultáneamente
- Limitar la razón  $Q_{max}/Q_{min}$

#### 3. Atenuar las tasas de aumento (subida) y disminución (bajada) de los caudales y cotas:

- Reducir las tasas de bajada del caudal (disminuir  $dQ/dt$ )
- Reducir las tasas de bajada de cota (disminuir  $dh/dt$ )
- Disminuir las tasas de bajada y de subida de caudal o de la cota

4. Mejoramientos estacionales, sea reduciendo la magnitud de las fluctuaciones o de las tasas:
  - Modificar los requerimientos de caudal según la fase biológica de los organismos
  - Causar crecidas durante períodos de bajos caudales para inducir migraciones
  - Evitar atraer peces hacia la restitución de la central
  - Desarrollar regímenes flexibles de caudales ambientales
5. Reducir o evitar las fluctuaciones de la temperatura del agua (el *thermopeaking*):
  - Proveer hábitat con buenas condiciones de temperatura
  - Atenuar las fluctuaciones de temperatura
  - Liberar aguas con régimen de temperatura adecuado a las necesidades ecológicas
6. Minimizar el área afectada por secado y mojado (expandir área constantemente inundada):
  - Reperfilarse/rediseñar el cauce mediante estructuras in-situ; restaurar el tramo
  - Ensanchar el cauce
7. Reducir la propagación de las ondas de *hydropeaking*:
  - Encontrar la mejor forma al reperfilarse las riberas, de modo de reducir la reflexión de ondas
8. Mejorar la calidad del río o restaurar el río:
  - Crear lechos para desove
  - Construir refugios para peces y/o invertebrados
  - Diversificar el hábitat físico para peces y/o invertebrados
  - Crear proyectos multi-propósito, combinando diferentes medidas
  - Liberar crecidas artificiales para renaturalizar el río
  - Reducir la infiltración de sedimento fino en el lecho de tramos con *hydropeaking*

En cada caso se describe la medida de mitigación, y se indica a qué tipo de medida corresponde, así como la forma en que se puede llevar a cabo. También se especifican los resultados esperados al aplicar cada una de las medidas propuestas, y las necesidades de monitoreo. Finalmente, se indica la referencia (autor y año) del trabajo en que se propuso cada medida de mitigación.

### 2.2.3 Análisis crítico de Charmasson y Zinke (2011)

El mayor mérito del trabajo de Charmasson y Zinke corresponde a la completa tabla en anexo, con la revisión exhaustiva de una serie de medidas de mitigación aplicadas a nivel mundial (ver Acápites 2.2.2.5). Por otra parte, el tratamiento de los impactos del *hydropeaking* es relativamente sumario, razón por la cual, para los fines del presente estudio, se decidió analizar en paralelo el trabajo de Baumann y Klaus (2003).

El tercer tipo de medidas, las llamadas "medidas de compensación y mantención" o también "*in-stream measures*" (específicamente en el *abstract*), o incluso "*renovation works*" (el uso de este último término no se entiende), no son específicas para *hidropeaking*. A lo largo del trabajo de Charmasson y Zinke, cuando se mencionan estas medidas, no hay referencia ni explicación clara de por qué contribuirían a mitigar los impactos del *hydropeaking*, siendo que se trata sin excepción de medidas mucho más generales. Por lo demás, sus posibles efectos en mitigar las fluctuaciones por

generación de punta serían locales, aplicables solamente al sector modificado del tramo con impactos.

Un aspecto importante a considerar, es que muchas de estas medidas del tercer tipo (les llamaremos siempre "medidas *in-situ*" de aquí en adelante) sólo tienen sentido en cauces que han sido fuertemente degradados en el pasado, sea por la actividad agrícola y forestal, o por drenaje, minería, proyectos de canalización, etc. Como se mostrará para el caso chileno (ver Tabla 3.1), sin embargo, la mayoría de los ríos con *hydropeaking* corresponde a tramos con impacto ambiental bajo o mediano, de buena calidad ambiental y/o estado de conservación, habiendo incluso muchos ríos en condiciones casi prístinas (al menos en comparación con cauces típicos en países desarrollados), si se descuentan los pulsos de caudal por generación de punta. La noción de que pudieran intervenir tales tramos con maquinaria pesada para mitigar impactos del *hydropeaking* sólo empeoraría su condición ambiental, ya que se sumaría un cambio fuerte de la morfología a la alteración del régimen hidrológico.

Por otro lado, debe mencionarse que partes importantes del trabajo hacen referencia a una serie de aspectos que no guardan relación alguna con mitigar los impactos del *hydropeaking*. Por ejemplo, hay acápite relativos al paso de peces o a la remoción de macrófitas acuáticas, o incluso al mejoramiento de la productividad de riberas de embalses mediante fertilización.

## 2.3 Análisis de Baumann y Klaus (2003)

El informe de Baumann y Klaus (2003), titulado "Consecuencias Ecológicas del Hydropeaking: Estudio Bibliográfico", es anterior a Charmasson y Zinke (2011), y es en cierta medida su precursor. Sus capítulos cubren una introducción y contexto, los fundamentos del problema del *hydropeaking*, sus efectos ecológicos, los factores que determinan los impactos de las fluctuaciones, y las medidas para mitigar sus efectos.

Baumann y Klaus (2003) ponen el énfasis de su revisión en los impactos ecológicos del *hydropeaking*, así como en los diferentes factores ambientales que los determinan, más que en las medidas de mitigación propiamente tal. En todo caso, como cualquier mitigación adecuada requiere en primer lugar un estudio correcto de los impactos, se considera que ambos trabajos (Baumann y Klaus, 2003; Charmasson y Zinke, 2011) se complementan muy bien, y debieran leerse en conjunto. Además, Baumann y Klaus basan sus conclusiones en la revisión de una gran cantidad de estudios de terreno, tal como se solicita enfatizar en las bases del presente estudio.

### 2.3.1 Traducción del resumen ejecutivo

"El presente estudio bibliográfico revisa los conocimientos actuales sobre los efectos ecológicos del *hydropeaking* y sobre la efectividad de las medidas destinadas a atenuar sus efectos en los cursos de agua. Para efectuarlo, concentramos nuestro análisis en trabajos de experimentación prácticos en tramos de ríos con *hydropeaking*, en Suiza y en regiones Alpinas vecinas. Sin embargo, también hemos cubierto una serie de trabajos de revisión que reúnen los resultados de numerosos trabajos consagrados a la ecología de ríos en otras regiones geográficas. Para clasificar las reacciones que pueden tener distintos tipos de cursos de agua ante el *hydropeaking* de una manera lo

más uniforme posible, hemos clasificado todos nuestros resultados según los valores de los parámetros abióticos y bióticos medidos (los indicadores), y según la influencia del *hydropeaking*.

La operación con *hydropeaking* se refiere a la alternancia de un caudal alto (caudal de *peaking*) y un caudal bajo (caudal piso), que se suele observar, a veces diariamente, en cauces ubicados aguas abajo de centrales hidroeléctricas que funcionan de manera intermitente. En Suiza, alrededor de un 25% de las centrales hidroeléctricas de talla mediana a grande provocan o contribuyen a este tipo de fluctuaciones del caudal.

El régimen hidrológico natural no incorpora este tipo de paso regular y muchas veces rápido desde un caudal piso a un caudal máximo (y vice-versa), por lo que estas fluctuaciones no son previsibles para los organismos, equivaliendo a una perturbación aunque fuese sólo desde el punto de vista hidrológico. Los resultados de los trabajos analizados muestran sin embargo que esta perturbación es también de orden ecológico, en general. En efecto, comparaciones con tramos hidrológicamente intactos muestran que el *hydropeaking* modifica la estructura de los cauces, así como sus funciones acuáticas, causándole impactos.

En la mayor parte (65 a 90%) de los cauces estudiados, la operación de punta causa una disminución de la fauna íctica y de macroinvertebrados, modifica su composición, y aumenta la deriva de organismos cuando los caudales suben, así como la varazón cuando los caudales bajan. Las modificaciones no son tan homogéneas respecto de los demás indicadores, lo que puede deberse a que estos no han sido aún objeto de observaciones sistemáticas. Por ello, sigue siendo imposible el evaluar los efectos del *hydropeaking* para un río particular sin proceder en cada caso a un análisis específico detallado.

Los conocimientos acerca de algunos de los indicadores, por ejemplo la varazón de organismos, aún presentan lagunas, en particular en el caso de ríos alpinos. Por ello, es importante llevar a cabo proyectos de investigación detallados, si posible con experimentación en terreno.

Algunos organismos o grupos de organismos son extremadamente sensibles a los efectos del *hydropeaking*, mientras que otros los resisten mucho mejor, siendo capaces de resistirlos.

Basándose en varios ejemplos, el estudio ilustra algunos de los efectos observados con mayor frecuencia sobre los hábitats y las comunidades, en ríos sometidos a generación de punta.

La morfología de un tramo es el principal factor que determina los efectos ecológicos del *hydropeaking*. Una mayor variedad de estructuras, la presencia de barras de grava o de riberas de baja pendiente, pueden tanto disminuir o bien acentuar sus efectos. Por ello, es importante tomar en cuenta la morfología al evaluar, y sobre todo al intentar revitalizar un tramo sometido a generación de punta.

En la actualidad, sólo se disponen de datos indicativos respecto de la importancia que tienen las características hidrológicas de las fluctuaciones por generación de punta. Sabemos poco acerca del rol que juegan la frecuencia o la regularidad de las fluctuaciones. Por otra parte, incluso aquellos parámetros que han sido investigados en mayor profundidad, por ejemplo la razón entre el caudal máximo y el caudal piso, o las tasas de subida o bajada de los caudales, sólo permiten una evaluación muy aproximada de los impactos del *hydropeaking*, ya que no bastan para considerar todos los efectos que tienen las fluctuaciones. Los trabajos futuros deberán esforzarse para investigar tales efectos con mayor precisión, en función del tipo de fluctuaciones y de su amplitud, en los ríos alpinos.

El efecto de medidas para mitigar los impactos del *hydropeaking* sobre la ecología de los ríos alpinos ha sido analizado en detalle en el caso de la Bregenzer Ache (Vorarlberg, Austria). Las conclusiones de este estudio, dedicado a verificar la eficacia de las medidas implementadas, no pueden en ningún caso aplicarse sin más a otras medidas de mitigación o a otros ríos. En Suiza, los primeros estudios de este tipo están en curso o en preparación en la actualidad. Hay medidas de mitigación, en algunos casos muy avanzadas, ya en varias centrales hidroeléctricas suizas, pero sus efectos positivos sobre la ecología de esos ríos no han sido evaluados a la fecha.

Terminando, el estudio entrega algunas pistas metodológicas para la experimentación in-situ, así como para la evaluación de los efectos ecológicos del *hydropeaking*."

### 2.3.2 Breve análisis crítico

Baumann y Klaus (2003) efectúan una revisión muy completa sobre la temática de los impactos ecológicos del *hydropeaking*. Se trata de un meta-análisis ya que resumen los resultados de 13 *review papers* anteriores, los cuales a su vez analizan las conclusiones de cerca de 240 trabajos científicos sobre el tema.

En su capítulo de fundamentos, Baumann y Klaus describen las distintas características relevantes del régimen hidrológico, desde el punto de vista de la ecología fluvial, enfatizando aspectos como el rol que juegan los distintos indicadores, los efectos de la estacionalidad, la relación con el régimen natural, así como la determinación de la zona de influencia de los impactos.

Es importante destacar que el énfasis del trabajo de Baumann y Klaus (2003) es en sistemas alpinos, lo cual hace que el trabajo sea en general aplicable al caso chileno, donde se tienen principalmente ríos de alta pendiente y material grueso.

Un aporte fundamental de este trabajo es la Tabla 2.1 del presente Informe, traducida directamente del trabajo de Baumann y Klaus, en la que se resumen los distintos efectos ecológicos mencionados en los 240 trabajos revisados por los autores. Esto constituye el resumen más completo a la fecha de los distintos efectos ecológicos y ecosistémicos del *hydropeaking*.

En la Tabla 2.1, las celdas con color azul más claro indican "mención aislada", lo cual quiere decir que ese efecto en particular es citado sólo en uno de los trabajos de revisión, y a lo más cuatro veces. Por otro lado, el azul más oscuro hace referencia a una "mención frecuente del efecto", esto

es, que tal impacto ha sido citado más de ocho veces en a lo menos cuatro revisiones, o bien más de 11 veces en tres de las revisiones, o bien más de 15 veces en dos de los papers de revisión. El color intermedio representa el caso intermedio de "efecto con mención repetida".

A su vez, los tipos de impactos, en cuanto a su intensidad o severidad, son: (x) modificación global, sin precisar si se trata de un aumento o disminución; (++) fuerte aumento de ese parámetro; (+) aumento; (±) sin modificación; (-) disminución; (--) disminución fuerte.

Los números que aparecen indicados en algunas de las celdas para ciertos parámetros más globales (de tipo hidráulico, sedimentológico, de calidad del agua, de hábitat, y comunitario), hacen referencia a aquellos grupos de organismos sobre los cuales se documentaron los efectos ecológicos indicados, en cuanto a la importancia de los efectos (en las columnas, desde aumento fuerte ++ hasta disminución fuerte --), y a la frecuencia de las menciones (distintos colores): (1) comunidad biológica entera; (2) macrófitas acuáticas; (3) fitobentos o perifiton; (4) macrozoobentos; (5) peces adultos; (6) huevos y juveniles de peces. Por ejemplo, para el parámetro "concentración de oxígeno", se tiene una cantidad intermedia de menciones en la literatura (color celeste intermedio), y todas ellas indican una disminución de la concentración (signo -). Además, se indica que este efecto ha sido documentado en cuanto a sus impactos sobre los peces adultos (ya que aparece el número 5).

Tabla 2.1 Efectos del hydropeaking (de Baumann y Klaus, 2003)

PARÁMETROS	Número de menciones/Tipo de influencia						
	Total	x	++	+	±	-	--
<b>Morfología</b>							
Ancho del cauce							
Profundidad							
<b>Parámetros hidráulicos</b>							
Velocidad		4		2			
Velocidad cerca del lecho							
<b>Calidad del agua</b>							
Características químicas							
Temperatura		6					
Concentración de oxígeno						5	
Materia en suspensión, turbidez							
<b>Sedimentos</b>							
Composición granulométrica							
Depositación/Resuspensión		4,5		4			
Colmatación/Enfangamiento				4			
Erosión del lecho							
Cantidad/Calidad flujo hiporreico		6					
<b>Hábitats acuáticos</b>							
Disponibilidad de hábitat (hidráulico)		6				5,6	
Calidad del hábitat							
Detritos/Mat. Org. Particulada						5,6	
Cauces y hábitats laterales						5	

Formación de hielo							
<b>Comunidad biológica: Estructura</b>							
Colonización de la franja fluctuante		2,3,4				3,4	4
<b>Comunidad biológica: Función</b>							
Productividad							
Mortalidad							
Deriva				2,3			
Varazón/Secado							
<b>Vegetación ribereña: Estructura</b>							
Riqueza específica/Diversidad							
Condición/Vitalidad							
<b>Macrófitas acuáticas: Estructura</b>							
Densidad							
<b>Macrófitas acuáticas: Función</b>							
Productividad							
<b>Perifiton/Fitobentos: Estructura</b>							
Frecuencia/Densidad							
Biomasa							
<b>Macrozoobentos: Estructura</b>							
Frecuencia/Densidad							
Biomasa							
Composición							
Riqueza específica/Diversidad							
Condición/Vitalidad							
<b>Macrozoobentos: Función</b>							
Productividad							
Oferta e ingesta de alimentos							
Deriva							
Inmigración/Colonización							
Actividad/Comportamiento							
Varazón/Secado							
<b>Ictiofauna: Estructura</b>							
Frecuencia/Densidad							
Biomasa							
Composición							
Riqueza específica/Diversidad							
Condición/Vitalidad							
<b>Ictiofauna: Función</b>							
Productividad							
Crecimiento/Desarrollo							
Oferta e ingesta de alimentos							
Deriva							
Migraciones							
Actividad/Comportamiento							
Varazón/Secado							
Reproducción							



<b>Peces juveniles: Estructura</b>							
Frecuencia/Densidad							
Biomasa							
<b>Peces juveniles: Función</b>							
Crecimiento/Desarrollo							
Mortalidad							
Deriva							
Actividad/Comportamiento							
Estrés/Fisiología							
Varazón/Secado							

Un segundo objetivo general del trabajo de Baumann y Klaus (2003) fue evaluar el desempeño de distintas medidas de mitigación de los efectos de la generación de punta. El trabajo describe el mismo ejemplo austriaco mencionado en Charmasson y Zinke (2011), pero con mayor profundidad. La Tabla 6 de Baumann y Klaus es muy similar al anexo final de Charmasson y Zinke, pero incorpora una cantidad menor de ejemplos de medidas de mitigación, dado que fue elaborada ocho años antes. Por lo anterior, es que se considera que la combinación de estos dos artículos entrega la mejor síntesis tanto de los impactos ecológicos del hydropeaking (Baumann y Klaus) como de las distintas medidas de mitigación que se han aplicado (Charmasson y Zinke).

## 2.4 Impactos económicos y socioculturales del *hydropeaking*

Los impactos económicos del *hydropeaking* pueden verse desde dos aspectos distintos: por un lado, los impactos económicos de la generación de punta sobre otros usos del sistema fluvial y sus aguas, y por otro, los costos asociados a las distintas medidas de mitigación.

Ha sido difícil encontrar literatura respecto de los impactos que tiene la generación de punta sobre otros usos. Los únicos dos grupos que se ha podido identificar que tienen varias publicaciones en el tema son el Laboratorio de Construcciones Hidráulicas de la Escuela Politécnica Federal de Lausanne, Suiza, liderado por el Prof. Anton Schleiss, y la agencia de cuenca del río Dordogne en Francia, cuyos trabajos se revisan a continuación.

### 2.4.1 Agencia de cuenca del río Dordogne (EPIDOR)

El único grupo que se pudo encontrar que haya desarrollado estudios de los impactos socioeconómicos del *hydropeaking*, basados en levantamiento de datos de terreno, corresponde al Establecimiento Público Territorial de la Cuenca del río Dordogne, en Francia (*Établissement Public-Territorial du Bassin de la Dordogne*, EPTBD, más conocido con el acrónimo de fantasía EPIDOR). Por lo anterior y por el hecho de contener una serie de otros aspectos atinentes al presente estudio, y a pesar que todos estos documentos están originalmente en idioma francés, a continuación se hace una recopilación más bien acabada del trabajo llevado a cabo por EPIDOR (1999, 2001) y Faure (2000). Gran parte de lo que sigue corresponde a traducciones interpretadas de pasajes más bien largos de estos tres documentos. Se hace notar que este caso de estudio corresponde al ejemplo francés mencionado en Charmasson y Zinke (2011), revisado en la Sección 2.3 del presente Informe.

### 2.4.1.1 Contexto geográfico e institucional de EPIDOR

La Dordogne es el río más largo de Francia, cubriendo 475 km desde el Macizo Central hasta el Atlántico, con una cuenca de casi 24.000 km<sup>2</sup>. Una serie de centrales hidroeléctricas se ubican en la parte alta, regulando el caudal producido por un área que alcanza a casi el 30% de su cuenca. El impacto de los pulsos de generación de punta se siente sobre más de 300 km, hasta la zona de influencia de la marea. Faure (2000) indica que “los usuarios perciben los impactos del *hydropeaking* desde hacen unos 50 años; no es un fenómeno nuevo pero se ha amplificado ya que la capacidad de generación hidroeléctrica ha aumentado fuertemente en los últimos 10 años”.

La Agencia de Cuenca del río Dordogne, EPIDOR, fue fundada en 1992. Su misión guarda relación con lograr una gestión integrada y sustentable del agua, los ríos y los ambientes acuáticos. Su objetivo principal es formular estrategias apropiadas a los problemas en la cuenca de la Dordogne, e implementarlas rápidamente, respetando los cuatro principios siguientes: (i) actuar a la escala de la cuenca, (ii) aclarar las responsabilidades y competencias de los distintos actores, (iii) lograr coherencia entre las políticas públicas en torno al agua, y las de los demás sectores (agricultura, urbanización, industria, etc.), y (iv) encontrar formas de implementar políticas públicas ambiciosas en la cuenca de la Dordogne.

Evidencia del éxito de este enfoque fue la nominación como Reserva de la Biósfera por la UNESCO en 2012, la primera vez que este reconocimiento recaía sobre una cuenca hidrográfica de tal tamaño. En el marco seguido por EPIDOR, la gestión integrada se logra mediante esquemas de ordenación y gestión de las aguas (SDAGE en sus iniciales francesas), planes de gestión de estiaje, y contratos de río. Dentro del primero de estos esquemas “SDAGE” para la cuenca, una medida específica contempló “mejorar la gestión hidráulica y el funcionamiento con *hydropeaking* de las centrales hidroeléctricas en períodos críticos”. Específicamente, se indicó lo siguiente:

“se recomienda que la Agencia [del agua] y las comunidades afectadas (...) negocien con los operadores de las obras hidroeléctricas autorizadas a generar de punta, las condiciones técnicas y económicas de una gestión de los pulsos de *hydropeaking*. Esto afectaría la seguridad del sistema eléctrico por lo que no considera las centrales de embalse que participan de la seguridad del sistema nacional. En un plazo de tres años tras haberse aprobado el SDAGE, se tendrán acuerdos-marco que reglamenten esta disminución del *hydropeaking* (...)”

### 2.4.1.2 Estudios del *hydropeaking*

Los estudios respecto a *hydropeaking*, en el marco de este SDAGE, fueron efectuados por una compañía consultora de Toulouse, Compagnie des Experts et Sapiteurs, entre Mayo del 1998 y Octubre del 2001, la que produjo ocho informes distintos. Lo que se menciona a continuación proviene específicamente de los tres informes siguientes:

- “Premiers Diagnostics Hydrauliques et Socio-Économiques des Éclusées” (diagnósticos preliminares hidráulicos y socio-económicos del *hydropeaking*; EPIDOR, 1999)
- “Étude de l’Impact Social des Éclusées” (estudio del impacto social del *hydropeaking*; Faure, 2000)

- "Rapport de Synthèse Destiné à la Préparation de l'Accord Cadre sur la Limitation des Éclusées" (informe de síntesis para la preparación del acuerdo-marco sobre la limitación de *hydropeaking*; EPIDOR 2001)

## 2.4.2 Diagnóstico preliminar (EPIDOR, 1999)

El diagnóstico preliminar o prediagnóstico parte indicando sus objetivos:

"Las implicancias de la generación de punta sobre el funcionamiento ecológico y humano de los valles afectados son complejas, porque muchas veces tales implicancias están interrelacionadas. Las modificaciones frecuentes del régimen de las aguas de la Dordogne son consecuencia de las fluctuaciones de cota en los embalses de la cuenca alta, y tienen efectos sobre el ecosistema de aguas abajo y sin dudas, directa o indirectamente, sobre algunos de los usos. El diagnóstico preliminar tiene por objetivo describir los fenómenos observados y efectuar un primer levantamiento de sus causas y consecuencias sobre el medio natural y humano".

Si bien EPIDOR (1999) sólo toca muy preliminarmente los aspectos socio-económicos, tal como lo da a entender su título, de igual manera se ha incorporado esta referencia bibliográfica en la revisión, ya que toca una serie de aspectos que son interés en el marco del presente estudio, pensando en el caso chileno.

La descripción del *hydropeaking* que hace EPIDOR (1999) es muy lúcida. Indica que un régimen de generación de punta se refleja, en el embalse, en un fenómeno similar a las mareas, con sucesiones repetitivas de períodos de aguas altas y bajas, observándose el mecanismo en el embalse, pero también a contratiempo en el curso de agua, hacia abajo. Los períodos y amplitudes de los ciclos caracterizan cada régimen de *hydropeaking*. Esto resulta en hidrogramas "en diente de sierra", con un caudal mínimo (también llamado caudal piso o reservado) y episodios de altas con distintos caudales máximos, los que dependen de las características técnicas de las unidades turbo-generadoras de cada central. Destacan que las fluctuaciones son un fenómeno netamente artificial (aunque crecidas pequeñas puedan tener una rampa de subida con el mismo orden de magnitud), repetitivo, aunque con visos de aleatoriedad.

A continuación, EPIDOR (1999) hace un análisis muy interesante acerca de lo que sucede con las centrales de pasada. Se define este tipo de CH como una operación donde el caudal restituído hacia aguas abajo debe ser exactamente el mismo que el que llega desde aguas arriba, con lo cual las centrales de pasada debieran transparentes respecto del caudal (es decir, no debieran cambiarlo, ni causar impactos por *hydropeaking*). En los hechos, en Francia, esta operación es obligatoria por reglamento para la mayor parte de las centrales más pequeñas (potencia menor a 4.5 MW); contrariamente a las centrales autorizadas a efectuar *hydropeaking*, no es el operador el que determina el caudal turbinado, sino que la operación debe adaptarse continuamente al caudal que le llega a la CH de pasada desde aguas arriba.

Sin embargo, la capacidad de adaptación de cada central queda dada por la naturaleza y calidad de sus equipos. En aguas altas, es fácil lograr la "transparencia de los caudales" (o sea que el caudal saliente de la central sea idéntico al entrante a la poza), ya que típicamente se estará vertiendo. Sin embargo, en los rangos normales de caudal, cuando varía el aporte desde aguas

arriba, es necesario primero que la central sea capaz de percibir esta variación, antes de poder adaptar su régimen de operación. Normalmente, esto se hace con un algún tipo de sensor que mide la cota del agua en la captación, pero como este instrumento está en la poza, típicamente tiene baja sensibilidad, ya que un cambio de unos pocos centímetros puede reflejar un volumen apreciable de agua. Así, habrá un desfase temporario entre el caudal entrante y el caudal turbinado. Por otra parte, si el ajuste de la central es por saltos discretos, por ejemplo al contar con varias turbinas todas de igual tamaño, se tendrá entonces que una central de pasada generará fluctuaciones de caudal similares al *hydropeaking* de una central de embalse.

Estos comentarios son muy interesantes a la luz de lo concluido en la Sección 3.4 del presente Informe, de que todas las centrales de Chile, incluidas aquellas que debieran ser netamente de pasada, de todas maneras incorporan pulsos a los regímenes de caudales. También sugiere una medida de mitigación para tales casos: el medir continuamente el caudal pasante a una cierta distancia aguas arriba de una central de pasada, en vez de guiarse por la cota del agua en la poza, debería permitir un seguimiento más cercano de los caudales. Finalmente, EPIDOR (1999) entrega un ejemplo aclarador, que enfatiza la importancia que tiene la selección técnica de las turbinas:

“Tomemos el ejemplo de una central [con varias unidades de 20 m<sup>3</sup>/s] que turbinada 50 m<sup>3</sup>/s cuando el caudal de la Dordogne es también de 50 m<sup>3</sup>/s. Supongamos ahora que este último disminuye en 5 m<sup>3</sup>/s [es decir, a 45 m<sup>3</sup>/s] en un lapso de una hora. La central sólo se dará cuenta de ello después de unos 20 minutos, durante los cuales el caudal es de 45 m<sup>3</sup>/s aguas arriba de la central, pero sigue siendo 50 m<sup>3</sup>/s aguas abajo. La central necesitará entonces parar una turbina de 20 m<sup>3</sup>/s, con lo cual el caudal hacia aguas abajo pasará bruscamente de 50 a 30 m<sup>3</sup>/s. Con ello, la poza volverá a llenarse, aumentando su cota; la central percibirá un incremento del caudal y se adaptará en consecuencia, haciendo funcionar nuevamente una turbina de 20 m<sup>3</sup>/s. Así, se crea involuntariamente una oscilación aguas abajo de una central de paso”.

Lo anterior sugiere otra medida para evitar el *hydropeaking*, a considerar en la etapa de diseño conceptual, que corresponde a usar turbinas de distintos tamaños, o con mayor flexibilidad operacional en cuanto al rango técnico de caudales generables, de modo de poder seguir mejor los cambios de caudal, tal como propuso Meier (1992<sup>a</sup>, 1993<sup>a</sup>, 1995) para un caso chileno.

EPIDOR (1999) indica entonces que en un río sometido a *hydropeaking*, las centrales ubicadas hacia aguas abajo, aunque funcionen de pasada, pueden involuntariamente mantener o modificar la perturbación hidráulica inicial. La calidad de la regulación pasa a ser por lo tanto un factor técnico determinante, potencial causante de este *hydropeaking* involuntario.

#### 2.4.2.1 El marco legal en Francia

La Ley francesa (Artículo 10 de la Ley del Agua, Rúbrica 2.4.1) somete explícitamente a autorización toda obra hidráulica que cause fluctuaciones artificiales del caudal. En la práctica, sólo se le permite funcionar con *hydropeaking* a las centrales que poseen un embalse grande (entiéndase, que entregue una capacidad de regulación suficiente), lo cual queda claramente indicado en el Artículo 15 del reglamento para decretos de concesión (decreto del 5 de Septiembre de 1920):

“La Administración se reserva expresamente el derecho de reglamentar las fluctuaciones de caudal producidas por la central, obligando, si fuese necesario, al concesionario a mantener en el canal de restitución, sea mediante una piscina de compensación o por cualesquiera otros dispositivos apropiados, el caudal necesario para salvaguardar los intereses generales, y si fuera necesario un caudal igual al que llega al punto de captación, sin que éste pueda oponerse o pretender una indemnización por ello”.

Queda en claro entonces que en Francia, la ocurrencia de *hydropeaking* no es ilegal, ya que la Ley del Agua dispone de un artículo de larga data, especialmente dedicado al tema. Según lo anterior, la Ley permitiría enmarcar y reglamentar estrictamente la operación con fluctuaciones. Sin embargo, en los decretos específicos de concesión, que valen como reglamento para cada obra, la modalidad de operación no se precisa más allá de unos pocos principios generales como el caudal máximo turbinable, el caudal mínimo, y las cotas máximas y mínimas de los embalses. Esto implica que, dentro de estos límites, el concesionario puede teóricamente operar como él lo así lo desee.

Sin embargo, concluye EPIDOR (1999):

“Hoy en día, los temas relacionados con la seguridad de las personas y la protección de los ambientes acuáticos pueden traducirse en requerimientos particulares, que impliquen nuevas restricciones para los operadores [respecto a las planteadas originalmente en el decreto de concesión]”.

Este grupo de investigación opina que esta verdad, a la cual deben sumarse los impactos sobre otros usos y usuarios del agua y de los cuerpos de agua, también es aplicable a la realidad actual chilena, debiendo abordarse las externalidades de la generación hidroeléctrica de punta.

#### 2.4.2.2 Los beneficios económicos del *hydropeaking*

A continuación, el documento discute el interés económico de efectuar generación de punta, tras explicar las dos grandes ventajas de la hidroelectricidad, que son: (i) la puesta en marcha [o incremento de la potencia generada] casi instantánea de las unidades, lo cual le confiere un rol particular en la seguridad del sistema eléctrico, y por ende un valor económico, y (ii) la capacidad de acumular agua para luego producir en momentos específicos, lo que permite acompañar los cambios en el consumo de energía.

EPIDOR (1999) efectúa un análisis comparativo teórico, para una central en particular, de operar con *hydropeaking* versus turbinar lo más constantemente posible, concluyendo que la ganancia económica de hacerlo depende fuertemente de la diferencia de precios de la energía entre las horas valle y las horas punta.

#### 2.4.2.3 El *hydropeaking* en centrales en serie

EPIDOR (1999) aborda luego el tema de las centrales hidroeléctricas en serie. En estos sistemas, constituidos de embalses y centrales los unos bajo los otros, todas las plantas pueden echarse a andar al mismo tiempo, por ejemplo, para cubrir demandas punta de duración limitada, algunas veces por sólo unas pocas horas. Aquí hay un efecto de sinergia que sobrepasa la escala de cada

central independiente, ya que la unidad de gestión cubre sub-conjuntos de esquemas hidroeléctricos que típicamente funcionan de manera homogénea en un mismo río, pero no necesariamente en ríos de valles distintos. Por ello, pueden ocurrir efectos opuestos en el río principal, aguas abajo de la confluencia de los tributarios, como consecuencia de los desfases en el tiempo, o bien de la simultaneidad de las liberaciones en cada uno de los dos o más valles distintos.

#### 2.4.2.4 Aspectos hidrológicos e hidráulicos

La incidencia de la operación de punta sobre el régimen hidrológico de un río depende en gran medida del tamaño relativo de las turbinas con respecto a los caudales normales que lleva el cauce. Una forma de indexar esto es comparando el caudal nominal de generación con el caudal medio anual de río en el sitio donde se ubica la central (que es lo que se hace en el Capítulo 3 del presente Informe, para analizar los datos chilenos). Mientras mayor sea el primero con respecto al segundo, mayor será potencialmente el impacto hidrológico.

Luego, EPIDOR (1999) aborda varios temas relacionados con la descripción empírica del *hydropeaking* en la cuenca de la Dordogne: tiempos de viaje de los pulsos de caudal, caracterización hidrológica de las fluctuaciones, y efectos hidráulicos a la escala local (del tramo y la sección transversal). Respecto del primero de estos temas, plantea que la predicción de los tiempos de viaje es altamente confiable, puesto que el origen hidrológico del pulso está perfectamente circunscrito en tiempo y espacio. Por ello, es menos difícil estimarlo, teóricamente, que en el caso de un pronóstico de crecida causado por un evento de precipitación difuso, actuando sobre toda la cuenca. De hecho, los principales errores en la estimación del tiempo de viaje se deben justamente a que no se conocen los aportes “naturales” de la cuenca intermedia.

No se comenta acá el segundo aspecto, relativo a la caracterización hidrológica de las fluctuaciones, puesto que es un enfoque muy similar al utilizado en las Secciones 3.1.4 y 3.3 del presente Informe. Respecto del tercer y último aspecto, la conclusión de los autores es la siguiente:

“La operación de punta crea entonces condiciones de incremento en la cota del agua que no tienen equivalente natural en toda la cuenca de la Dordogne. Hoy, la consideración de la seguridad de las personas obliga a imponer restricciones sea para el operador (disminuyendo los gradientes o tasas de rampa de subida, colocando carteles para advertir del fenómeno) o bien para el público (reglamentando el acceso a los cursos de agua).”

Tras discutir en detalle variados aspectos técnicos sobre los tiempos de viaje, así como las tasas de ascenso (tanto en subida como en bajada), la frecuencia de los pulsos, y su amortiguamiento hacia aguas abajo, EPIDOR (1999) plantea distintos impactos del *hydropeaking* sobre la organización, la naturaleza y la estabilidad de los sedimentos del lecho. Aquí se plantean efectos de acorazamiento, impactos sobre la colmatación de los sedimentos del lecho, alteración de la estabilidad de las riberas, y propagación de los pulsos hacia los acuíferos circundantes.

#### 2.4.2.5 Diagnóstico de los impactos socio-económicos

EPIDOR (1999) concluye con un diagnóstico de los aspectos sociológicos de los impactos de la generación de punta, que en realidad corresponde de cierta forma a la metodología a aplicar en el estudio subsiguiente, de Faure (2000).

Se indica que el estudio cubrirá las distintas actividades socio-profesionales y los ribereños, intentando identificar los impactos sociales del *hydropeaking*, y luego reducir sus efectos, en el marco de un enfoque participativo, llevado a cabo con las comunidades que habitan los valles afectados. Se incluirán encuestas *in-situ* así como telefónicas para establecer un prediagnóstico y un diagnóstico de los aspectos sociológicos. Se plantea que se efectuará una serie de reuniones de concertación para obtener consensos respecto de los índices de sensibilidad a los pulsos y a las variaciones de caudal, por tramo de río y por central, según las distintas actividades socio-profesionales.

El estudio incluirá la verificación de datos respecto de las distintas empresas socio-profesionales en los valles (en particular, considerando guías de pesca y pisciculturas), un complemento sobre tales actividades en la estación de verano (particularmente los negocios de navegación, de canotaje y kayaks, y los campings) y, para las zonas ubicadas aguas abajo de las presas, conversaciones con los regantes y con los pescadores profesionales en la parte estuarina. Se levantará un calendario de estos distintos usos y actividades, de modo de definir una escala de los riesgos asociados a las distintas actividades humanas en los ríos, por tramo y por estación del año, en relación a los períodos de estiaje y de inundaciones. Se levantarán listados de los usuarios, para preparar reuniones temáticas, con la preocupación de identificar a aquellas poblaciones más vulnerables, con menores capacidades.

#### I. Grupos sociales

Para tener una noción de los riesgos sociales potenciales, se definieron los distintos usuarios cuyas actividades podrían potencialmente verse afectadas por las variaciones de caudal debidas a la generación de punta: los pescadores (categoría que incluye las federaciones de pesca, las asociaciones de pescadores, los guías de pesca profesionales, los negocios de artículos de pesca, los pescadores aficionados y los piscicultores); la navegación (barcazas o balsas, navíos para paseo turístico, los distintos deportes náuticos incluyendo lanchas de pesca así como canoas y kayaks); los campings, que muchas veces tienen asociado un balneario; los excursionistas (ecuestres, pedestres y con bicicletas de montaña). El estudio involucra también a los habitantes ribereños, la mayor parte de las veces representados por sus autoridades elegidas, así como a los agricultores-regantes relacionados con el río. También fueron parte de las encuestas las asociaciones de naturaleza y medio ambiente (grupos ambientalistas), así como el Consejo Superior de Pesca, y aquellos servicios públicos que tienen relación con el estado de los riesgos en relación al río.

#### II. Primera encuesta

El prediagnóstico se efectuó sobre una revisión bibliográfica y a partir de los resultados de una salida a terreno en la parte superior del curso de la Dordogne. En ésta se establecieron contactos con profesionales (empresarios) involucrados en distintos tipos de actividades (pesca, canotaje, kayak, camping, deportes náuticos), surgiendo desde ya una serie de quejas preliminares:

- La disminución de las cotas en los embalses es mayor en los meses de primavera, lo que impide iniciar las actividades turísticas temprano, porque los turistas se quejan de tener que atravesar la zona de lecho de embalse desecada
- Hay inversiones que están suspendidas (en navegación, restaurantes, campings) debido a este problema, y al temor que la situación empeore aún más
- La puesta en servicio de un sendero a lo largo de la Dordogne, rehabilitando el antiguo sendero de orilla, respondería a las demandas de muchos excursionistas pero debería ajustarse estrictamente a las directrices de seguridad de EDF [Électricité de France – la empresa nacional eléctrica] y de la prefectura [policial], para evitar accidentes
- Las fluctuaciones de caudal perturban el acceso de las barcazas a las rampas
- Inmediatamente aguas abajo de las presas, los pulsos son considerados como un amenaza, lo que frena las inversiones en turismo
- Las variaciones diarias del caudal resultan en muchas quejas por parte de los pescadores.

Si bien estas son indicaciones parciales, que deben verificarse, tienden a indicar que los ribereños y los usuarios profesionales se han adaptado al *hydropeaking*, pero que es deseable contar con más y mejor información, adaptada a cada categoría profesional. Hay una inquietud en torno al riesgo de que a futuro aumenten las variaciones del caudal. El seguimiento de este diagnóstico permitirá identificar otras realidades (agricultores-regantes, piscicultores, guías de pesca, pesca comercial aguas abajo, etc.), así como mejores maneras de producir una información eficaz, para reducir cada tipo de impacto.

### III. La falta de información

Todos los usuarios encuestados en esta parte de la cuenca se quejaron por la inexistencia o insuficiencia de la información disponible acerca de la variación de los caudales. Quisieran saber los días viernes cómo serán los caudales que tendrán para ese fin de semana. Hay posibilidades de informarse, pero se consideran insuficientes.

#### 2.4.2.6 Primeros levantamientos de impactos económicos

La cuenca de la Dordogne tiene una importante red hidrográfica que permite realizar diversas actividades náuticas: bañarse, canotaje, remo, kayak, vela, esquí náutico, motos de agua, rafting. Hay unos 400 balnearios en la cuenca, la mitad de los cuales están en las mismas riberas de la Dordogne. Algunas de las actividades anteriores se llevan a cabo en ríos, mientras que otras requieren superficies de agua. Si bien inicialmente se proyectaron con fines hidroeléctricos, más recientemente varios embalses han sido creados o adaptados para fines turísticos: 25 de los 50 embalses soportan prácticas turísticas, donde dominan el kayak (270.000 participantes por año) y la vela (25.000 practicantes anuales). Las actividades náuticas son operadas por 280 empresas, 120 de ellas asociativas, que en 1997 tuvieron una cifra de negocios de 12.4 millones de US\$ (de hoy).

La frecuentación en solo una parte de la cuenca alcanza una cifra entre las 200.000 y 400.000 días-persona por año, y la actividad náutica global se estima en 300.000 días-persona. Al ver estas cifras queda claro cuál es el impacto económico del turismo en esta parte de la cuenca de la Dordogne,



donde 464 personas tienen un empleo directo en el sector. El comercio, sin embargo, disfruta también del éxito de las actividades náuticas. El sector hotelero tiene ingresos anuales por 43 millones de US\$, por un total de 1.250.000 noches. No se tiene aún datos de los efectos que tiene el turismo sobre las demás actividades comerciales, sin embargo, el impacto de las actividades de turismo induce repercusiones positivas sobre el conjunto del tejido socio-económico local.

Por ende, la actividad náutica es un factor importante en la organización de la economía turística, siendo uno de sus motores y participando en el dinamismo local, a pesar de los pocos empleos que crea directamente. Por ende, además de conservar este potencial económico, el desafío consiste en desarrollar infraestructura turística en conjunto con una gestión eficaz de los recursos naturales y una reducción de los factores desfavorables.

Finalmente, y sin dar cifras, EPIDOR (1999) concluye que, al tener repercusiones sobre el régimen hidrológico, el *hydropeaking* afectará directa o indirectamente a los demás usuarios de recursos hídricos: el uso urbano, la industria, y el riego.

### 2.4.3 Levantamiento del impacto social (Faure, 2000)

El trabajo de Faure (2000) constituye el informe final del estudio de los impactos sociales del *hydropeaking* en la cuenca de la Dordogne. Sus objetivos son los siguientes:

“El estudio del impacto social del *hydropeaking* sobre el valle de la Dordogne se enmarca en las recomendaciones del SDAGE [esquema de ordenamiento y gestión de las aguas], y tiene por objetivo complementar los estudios técnicos, contribuyendo la perspectiva de los usuarios. Es un elemento importante para la preparación del acuerdo-marco para limitar las fluctuaciones de caudal [por generación de punta]. Este informe presenta el análisis de los resultados del diagnóstico participativo y de las reuniones de concertación. Esto no corresponde a los impactos de las presas sobre las poblaciones ribereñas, lo cual demandaría otro estudio de ciencias sociales, con otros objetivos y otras herramientas que los de presente estudio.”

Tras describir la importancia del complejo hidroeléctrico de la Dordogne, Faure (2000) indica que, según las encuestas llevadas a cabo a 140 personas-recursos, incluyendo a los directores de las presas, los inconvenientes de la operación actual son dobles, desde el punto de vista de los usuarios.

En primer lugar, el esquema de funcionamiento actual resulta en una puesta en marcha automática de las turbinas, que no es pronosticable en la misma central, con las herramientas de las que disponen sus operadores [lo cual es también cierto en el caso chileno, para aquellas CHs que participan del control primario de frecuencia, ver Tabla 1.1]. El sistema de centrales de la Dordogne contribuye seguridad a un sistema eléctrico a la escala europea, al estar interconectada la red francesa con las de los países vecinos. En efecto, según indica una nota entregada por EDF en Marzo de 1999:

“En caso de un incidente mayor, por ejemplo la bajada de una central nuclear o la caída de una línea, esta interconexión europea permite limitar, casi instantáneamente, el cambio de frecuencia inducido, mediante la regulación primaria de todas las

unidades de producción europeas que estén operando cuando ocurra la perturbación. Interviene luego la teleregulación secundaria, de la cual participan cinco de las grandes centrales de la Dordogne”.

Faure (2000) deduce que con el estado actual de la operación de las centrales, y la perspectiva inevitable de una solicitación cada vez mayor (aumento de la demanda nacional y extranjera de electricidad, seguridad de un sistema cada vez más dependiente de parámetros de operación alejados de la ubicación de las centrales), se hará cada vez más difícil pronosticar las fluctuaciones de caudal, a menos que se logre una mejora importante de las herramientas para hacerlo. Notar que los conceptos de “regulación primaria” y “teleregulación secundaria” corresponden exactamente a los controles primario y secundario de frecuencia, discutidos en la Sección 1.3.3.

En segundo lugar, la operación con *hydropeaking* provoca variaciones bruscas de caudal aguas abajo de las presas, pero también cambios importantes en la cota del agua de los embalses. Técnicamente, las fluctuaciones de caudal pueden mitigarse. Por ejemplo, las presas ubicadas al final de una serie de centrales deberían permitir reducir las variaciones, regulando los caudales entregados hacia aguas abajo. En el caso de la Dordogne, esto no puede darse, sin embargo, ya sea porque las centrales de aguas abajo tienen una capacidad de regulación que es menor en comparación con los volúmenes de las fluctuaciones que reciben, o bien porque las características técnicas de sus equipos no están adaptadas para ello.

Queda claro tras esta visión sumaria que los efectos del *hydropeaking* para los ribereños de la Dordogne deben visualizarse en el marco de un sistema eléctrico europeo.

#### 2.4.3.1 Metodología del estudio de Faure (2000)

El trabajo de Faure (2000) se centra en un diagnóstico participativo y en reuniones de concertación. El diagnóstico sociológico se efectuó mediante entrevistas con 140 personas-recursos, repartidas en 11 grupos socio-profesionales, de las cuales: 35 personas (incluyendo 10 institucionales) correspondieron a conversaciones en profundidad, de 2 a 3 horas de duración, en su lugar de trabajo; 75 usuarios contestaron una encuesta telefónica; y 30 otros usuarios que no habían sido encuestados participaron de las reuniones de concertación, donde completaron el diagnóstico. Como resultado, se dispone de 60 horas de registros audio, con un índice, a disposición del público.

Las reuniones de concertación tuvieron lugar en los cuatro Departamentos [provincias] afectados. Asistieron 73 personas, de las cuales 30 eran participantes nuevos, que no habían sido entrevistados antes, principalmente autoridades elegidas, provinciales y comunales. A los participantes les tocó pronunciarse respecto de los resultados de las encuestas sociológicas efectuadas en terreno. Opinaron acerca del listado de actores propuestos como “usuarios sensibles al *hydropeaking*”; escogieron una cierta cantidad de palabras-clave; definieron índices de sensibilidad a las fluctuaciones de punta, para distintas actividades en sus provincias, los que permitieron luego hacer una jerarquía de los impactos. Finalmente, debatieron libremente acerca de las posibles soluciones para reducir los impactos del *hydropeaking* sobre sus actividades, haciendo un listado con una serie de propuestas, las que se presentan en este informe.

### 2.4.3.2 Categorías de usuarios considerados en el estudio

Los cuatro valles estudiados presentan un carácter excepcional desde el punto de vista natural, cultural y paisajístico. El valle de la Dordogne es un sitio prehistórico de referencia mundial, y tiene un patrimonio notorio (galo-romano, romano, medieval y del renacimiento). Los ríos, que antes aseguraban el intercambio de productos desde el mar a la montaña, son ocupados hoy por múltiples actividades agro-industriales, y por el turismo y deportes náuticos. Por ende, potencialmente son muchos los actores sociales que pueden verse afectados por el *hydropeaking*.

El primer listado de usuarios potencialmente afectados se levantó a partir de bibliografía, como se indicó anteriormente al revisar el prediagnóstico (EPIDOR, 1999). Se fue completando, revisando y afinando a lo largo del diagnóstico participativo, hasta llegar a la lista final, validada en las reuniones de concertación. Las categorías de usuarios fueron analizadas con el objetivo de identificar aquellas poblaciones más vulnerables, menos capaces de organizarse e integrarse a organizaciones socio-profesionales. Los usuarios/usos considerados fueron los siguientes:

1. Ribereños, restaurantes, hoteles, bañistas, excursionistas
2. Pescadores deportivos y aficionados, guías de pesca, monitores, negocios de pesca
3. Pescadores profesionales
4. Navegación: colectiva, arriendo de canoas y kayaks, individual
5. Campings
6. Sindicatos intercomunales de mantención de las riberas
7. Agricultores-regantes

Esta clasificación difiere del listado de 140 personas-recursos entrevistadas, que incluye miembros de asociaciones que conocen bien el río y sus problemas ambientales (ONGs de protección de la naturaleza), así como instituciones relacionadas con el estudio: los operadores de las centrales (EDF), agencias públicas relacionadas con las obras o con los recursos hídricos, cámaras locales de agricultura, federaciones departamentales y consejos superiores de pesca, etc.

Otros usuarios no quedaron en el listado de grupos socio-profesionales afectados por un potencial impacto, ya que manifestaron durante las entrevistas que habían adoptado estrategias de modo de evitarlos. Por ejemplo, algunos consorcios agro-industriales habían perforado pozos profundos en vez de extraer agua de los ríos, de modo de no tener problemas con las constantes fluctuaciones.

### 2.4.3.3 Los impactos percibidos por los usuarios

El método utilizado en el estudio de Faure (2000) consistió en permitir la interacción entre los usuarios, quienes presentaban sus puntos de vista durante las encuestas sociológicas y las reuniones de concertación, y los estudios técnicos; así se pudieron ajustar las percepciones de los usuarios a la realidad "objetivamente cuantificable" del impacto de las fluctuaciones de caudal.

Tras considerar las respuestas provistas por los estudios técnicos, la parte sociológica del estudio intentó distinguir entre "lo percibido", que se considera que es "la realidad vista por los usuarios", y "la realidad", dada por los estudios técnicos. Sin embargo, los estudios técnicos no pueden

siempre dar una respuesta apropiada, ya que no disponen en todos los casos de herramientas adecuadas, con el estado actual del arte. Respecto de lo que perciben los usuarios, y el valor que debe dársele a sus declaraciones, la encuesta sociológica mostró que ellos observan un fenómeno de manera empírica porque influye en sus vidas diarias y actividades. El fenómeno existe, y su mención por parte de los usuarios tiene razón de ser, pero tal vez sea la explicación o cadena causal invocada la que, debido a la falta de conocimiento profundo de los temas técnicos, esté fuera de la realidad.

Estos son los límites del estudio sociológico de Faure (2000), el cual documenta las conversaciones con los usuarios y propone un análisis o explicación subordinada a estudios técnicos, los cuales dependen de tener una buena comprensión acerca del funcionamiento de las centrales hidroeléctricas y sus impactos. Aunque la explicación dada por el usuario pueda estar errada, el impacto que éste percibe es claramente real.

Los impactos considerados fueron reducidos a la siguiente serie de palabras o frases clave:

- Cotas de agua y caudales impredecibles
- Peligro al pescar debido a ascensos bruscos del agua
- Peligro al practicar canotaje debido a ascensos rápidos del agua
- Peligro al rozar (despejar) riberas debido a los pulsos bruscos
- Peligro para los turistas en verano (excursionistas, bañistas)
- Variación en cota y temperatura del agua = muerte de peces (huevos, alevines, adultos)
- Aguas altas limitan actividades de pesca comercial (pérdida de puntos de referencia, peligrosidad)
- Aguas altas impiden actividades escolares y de deportes acuáticos (peligro)
- Pulsos impiden realizar actividades turísticas integradas (pesca + navegación + camping)
- Pulsos impiden garantizar buena pesca a los clientes (por parte de guías de pesca)
- Aleatoriedad impide realizar reservas turísticas (pesca, navegación, hotel, camping)
- Aleatoriedad de caudales causa varamiento de botes de pescadores comerciales
- Aguas altas impiden levantar las artes de pesca (pescadores profesionales)
- Aguas altas cancelan las salidas de navegación colectiva por seguridad
- Fluctuaciones dificultan acceso a embarcaderos y botaderos (rampas)
- Aguas bajas en embalses limitan actividad de navegación por distancia a orilla
- Caudales mínimos de estiaje insuficientes para pasar en canoa o kayak
- Riesgo para viajes largos (días) en canoa-kayak por ausencia de información sobre caudales futuros
- Imposibilidad de extender las actividades náuticas, a pesar de la demanda
- Erosión de riberas y en cepas de puentes
- Plantas acuáticas se desarrollan en aguas altas y luego se pudren al aire libre en verano, durante periodos de caudal bajo
- Impactos sobre los brazos muertos, los cauces trenzados y los humedales ribereños
- Inundaciones, con arrastre de riberas en invierno (campings, sitios ribereños)
- Barro, lodo y limos
- Impacto de las variaciones del nivel sobre las tomas para riego
- Inundación de las plantaciones en primavera (maíz, tabaco)
- Sedimentación de las tomas de agua para agricultura

- Piedras resbalosas [por exceso de perifiton], lo que es poco estético (en verano)
- Caudales bajos en verano e invierno en la zona de influencia mareal (falta caudal para atraer a los peces migratorios a remontar)
- Restos flotantes debido a la limpieza de rejillas de las centrales
- Pérdida de botes
- Impacto de las inundaciones sobre la trama vial

Debido a las limitaciones antes mencionadas, respecto de una buena comprensión del funcionamiento de las centrales hidroeléctricas, los resultados mostrados en Faure (2000) fueron cotejados con las explicaciones disponibles en la parte técnica del estudio. No se trata por ende de la percepción entregada directamente por los usuarios, sino que de una selección de los impactos que éstos declararon, considerando sólo aquellos que fueron efectivamente validados por el estudio técnico, así como algunos que el estudio no pudo validar, pero tampoco rechazar.

Como se presumía que estos impactos no tendrían la misma importancia en los distintos lugares, la lista anterior fue presentada a los asistentes a las distintas reuniones de concertación (en cada provincia), quienes le atribuyeron un índice de sensibilidad. Este índice permite jerarquizar la importancia de los distintos impactos, así como precisar su ubicación geográfica y período de ocurrencia (estación del año). Los índices de sensibilidad fluctúan entre 0 y 4, donde: 0 = positivo, 1 = indiferente, 2 = molestia, 3 = muy mal tolerado, 4 = insoportable.

A su vez, los impactos considerados fueron categorizados en varias categorías:

1. El peligro para la vida de las personas
2. La impredecibilidad de las fluctuaciones de cota y caudal que causa pérdidas financieras ya sea porque limita actividades (pesca deportiva y comercial, navegación) o bien las posibilidades de expandirlas. Todos clasificaron a este impacto con 4 (insoportable).
3. La degradación del ambiente natural, en particular para la reproducción de peces, los tramos con vegetación acuática enraizada, los nidos de patos, la turbidez incorporada al lavar los embalses (*flushing*), la basura por la limpieza de rejillas, la erosión de riberas, la colmatación del lecho con finos, la destrucción de la fauna béntica.
4. Las pérdidas materiales y la degradación de infraestructura (botes, artes de pesca, casas rodantes, caminos de acceso, cepas de puentes, etc.)

A continuación, el trabajo de Faure (2000) documenta, en palabras de los afectados, cómo éstos describen y califican el fenómeno del *hydropeaking*, y también cómo conviven con él. Se menciona la terminología usada por los habitantes locales para referirse al fenómeno, y se hace hincapié en que éstos conocen perfectamente bien la mecánica del *hydropeaking*, con sus ciclos diarios y semanales, teniendo también una noción de los tiempos de viaje promedio de los pulsos. Como éstos son aleatorios, a pesar de tener tendencias generales, los usuarios tienen todos sus propios puntos de referencia visuales, cuando están en el río, los que consultan continuamente para verificar si las aguas están comenzando a subir.

Debe indicarse que también existe un servicio en línea que muestra cómo cambian los caudales en distintas estaciones fluviométricas, pero cuando el tramo de interés está ubicado aguas arriba de la

estación, o bien es relativamente cercano, esto no es de gran utilidad. Se concluye que los medios empíricos a disposición de los afectados para prever la ocurrencia de pulsos son limitados.

Ahora bien, la mayoría de los afectados califica a la impredecibilidad de las cotas y caudales como “insoportable”, con un índice de 4. Los únicos otros dos impactos en esta categoría más alta son aquellos sobre los peces, así como la limitación de las actividades. La impredecibilidad de los pulsos es sinónimo de peligro, en primer lugar para los pescadores, pero también para los excursionistas, bañistas, habitantes ribereños y los usuarios de la navegación (botes de pesca, canoas, kayaks). También es un factor limitante para una serie de actividades, por lo cual es objeto de quejas recurrentes, en términos de lograr mayor información.

Hay tramos que se consideran particularmente peligrosos. El *hydropeaking* es peligroso, pero no lo es en igual grado en todos los lugares. Hay una peligrosidad social, debida a los usos, y hay una peligrosidad física. Identificar aquellos lugares potencialmente peligrosos tiene que ver con esta peligrosidad física. Para reducir el peligro, debe usarse un enfoque participativo, en el que concurran los usuarios, que son quienes mejor conocen los lugares peligrosos.

Por ejemplo, la presentación de EDF de Marzo de 1999 menciona las liberaciones de caudal bajo una presa, que causan una onda de más de 5 m de altura, correspondiente a un caudal turbinado de 334 m<sup>3</sup>/s. Este caso es el más impresionante en toda la cuenca de la Dordogne, porque ocurre en una garganta muy encajonada, con riberas empinadas, con alta densidad vegetacional, desde la cual “es muy difícil salir en caso de peligro”. Sin embargo, este tramo no es el de mayor peligrosidad social, puesto que es muy difícil acceder a él. Otros sitios de fácil acceso, donde se pueda llegar en auto con la familia son más peligrosos y más citados por los usuarios en las entrevistas.

Muchas actividades practicadas a lo largo de un río, incluso tan comunes como ir de picnic, pueden ser peligrosas en lugares con *hydropeaking*. La más peligrosa de todas, sin embargo, corresponde a la práctica de la pesca con mosca, ya que requiere que el pescador se adentre en las aguas, usando botas de vadeo (*waders*). En el caso de la cuenca de la Dordogne, se han ahogado pescadores por esta causa, e incluso dos de las personas entrevistadas contaron cómo se los había llevado la corriente hacia aguas abajo durante pulsos, logrando salvar ilesos.

Según los usuarios, la peligrosidad de los pulsos positivos (en ascenso) se debe a su carácter impredecible. Ésta aumenta en verano, debido a la presencia de turistas. Los carteles de aviso son visibles para todos, ya que son numerosos y están presentes en todos los puntos de acceso a los cauces. Sin embargo, cuando los visitantes ya llevan una o dos semanas, se acostumbran a ver un cauce casi seco y se olvidan de los carteles y de los riesgos de los pulsos. Lo que los usuarios desean, especialmente los pescadores y los ribereños, es contar con información anticipada respecto de los pulsos, y adaptada a la morfología de cada tramo (sirenas, informes, etc.).

El impacto del *hydropeaking* limita las actividades profesionales y de los empresarios de turismo, y su impredecibilidad es un factor agravante. Los pescadores profesionales (comerciales), la navegación, los deportes náuticos, la mantención de las riberas y de los bosques ribereños, la pesca deportiva, el arriendo de botes, etc., son todas actividades que se ven limitadas, según sus representantes. Los pulsos también impiden aumentar la oferta de muchas actividades turísticas, que tienen fuerte demanda en esta parte de Francia.

Faure (2000) indica que todos los actores profesionales relevantes pueden entregar cifras claras, calendarizadas, de las pérdidas financieras causadas por el *hydropeaking*, basadas en sus cifras de negocios de años anteriores. La imposibilidad de aumentar la oferta de actividades, así como la reducción de actividades, también causan pérdidas monetarizables, a lo cual debe agregarse una evaluación financiera de las pérdidas causadas por los impactos sobre los peces (y por ende, sobre la pesca, tanto deportiva como comercial). Estas estimaciones servirán de apoyo a la hora de negociar el acuerdo-marco, para determinar las compensaciones por pérdida, reducción, o limitación de actividades.

#### 2.4.3.4 Propuestas de los usuarios para reducir los impactos

El enfoque participativo de este trabajo tenía por objetivo obtener un diagnóstico acerca de la percepción de los usuarios respecto del *hydropeaking*, pero también definir propuestas para reducir sus impactos sobre las distintas actividades. Las propuestas que se entregan a continuación provienen de las encuestas, así como de las reuniones de concertación. La primera recomendación, expresada por todas las categorías socio-profesionales y en todas las provincias es la de “desmodular” los pulsos, esto es, reducir la amplitud de las fluctuaciones así como las rampas de subida y de bajada de los caudales.

“Antes que nada, queremos variaciones más lentas: que el agua suba menos rápido para que la gente no sea pillada de sorpresa”; “antes que nada debe disminuirse la amplitud de las fluctuaciones”; “son sobre todo las variaciones brutales de cota del agua las que son problemáticas”; “hay que evitar las subidas y las bajadas rápidas”; etc.

Los pescadores deportivos y comerciales indican que “sólo la desmodulación puede resolver los problemas con los nidos de peces, el entrapamiento de alevines, y de modo general con la reproducción de peces”. Es la solución prioritaria para todas las categorías socio-profesionales que eligieron el índice 4 (intolerable): pescadores deportivos, arrendatarios de canoas y kayaks, equipos de mantención de las riberas y los bosques ribereños, bañistas, excursionistas y pescadores comerciales.

La segunda recomendación de los usuarios para reducir el impacto del *hydropeaking* es responder a las necesidades de información y previsión. Esto también se propuso en todas las provincias, por los ribereños y profesionales. Lo que solicitan es que se implemente un sistema de información en tiempo real acerca de los caudales liberados, que entregue una alerta para los sitios peligrosos (peligrosidad social). Piden que el tipo de alerta (se mencionan sirenas, carteles luminosos, sistema de información abierto, cambio en la coloración del agua) se escoja caso a caso, con los usuarios, ya que éstos conocen mejor los lugares. Se reconoce que de todas formas ocurrirán problemas en aquellos lugares con tiempos de propagación muy cortos, según los estudios técnicos.

Por otra parte, los pescadores profesionales y los operadores turísticos necesitan información a lo menos con tres días de adelanto, para alcanzar a levantar sus artes de pesca los primeros, y tomar decisiones respecto de las actividades de los fines de semana los segundos. Incluso les serviría información cualitativa acerca de si ocurrirán o no pulsos, o bien respecto de los rangos de tamaño que éstos pudiesen tener.

Para el pronóstico a corto plazo, el sistema pensado por los usuarios sería en tiempo continuo, de acceso público y a distancia, y tendría que basarse en una modelación de los tiempos de viaje y de los cambios sufridos por los pulsos al desplazarse por el retículo hidrográfico.

La tercera recomendación para reducir el impacto del *hydropeaking* se refiere a indemnizaciones o medidas de compensación, basadas en el cálculo de las pérdidas incurridas cuando no se puedan llevar a cabo actividades por causa de los pulsos positivos. Ésta también es mencionada en cada una de las provincias, por la mayoría de las categorías socio-profesionales. Los empresarios turísticos y de la pesca pueden entregar sus resultados financieros, de manera de estimar las pérdidas causadas por los caudales altos. En el caso de los embalses, son las cotas bajas las que provocan pérdida de actividades e impacto paisajístico.

La cuarta recomendación es modificar las reglas de despacho de las centrales, de manera concertada, instaurando un diálogo entre los operadores y los usuarios, con los ribereños, pescadores deportivos y comerciales, campings, sector navegación, regantes, y los sindicatos de trabajadores encargados de la mantención de las riberas y de los cauces. En particular, se solicita aumentar el caudal mínimo (“ecológico”).

Finalmente, como quinto punto, hay una serie de otras proposiciones efectuadas por los usuarios, las que incluyen: (i) aclarar la responsabilidad jurídica asociada a los impactos del *hydropeaking*, ya que la ausencia de información al respecto es uno de los factores que impide la instalación de un sistema de información transparente; (ii) que EDF ayude a financiar una serie de medidas que se han hecho necesarias debido al *hydropeaking* (protecciones de riberas, restauración de caminos en la planicie y de cepas de puentes, reemplazo de muelles fijos por muelles flotantes, recuperación de la basura de las limpiezas de reja, apertura de brazos muertos, etc.).

#### 2.4.3.5 Conclusión del trabajo de Faure (2000)

Faure (2000) concluye su estudio indicando que las formas en que se ven impactados los usuarios en los distintos valles afectados varían en función de sus actividades, pero las propuestas para reducir el impacto del *hydropeaking* son relativamente similares.

El diagnóstico participativo (las encuestas) ha permitido conocer mejor tales actividades, así como las necesidades planteadas por aquellos que más se interesan al impacto de los pulsos, que son quienes viven a lo largo de estos ríos.

Con las reuniones de concertación se ha completado y validado el resultado de las encuestas sociológicas, jerarquizado la importancia relativa de los impactos, por provincia, categoría de usuario, y estación del año, y afinado las propuestas para reducir el impacto del *hydropeaking*.

Este diagnóstico participativo debiera completarse con un estudio de las economías locales, también con un enfoque participativo de cada categoría de usuarios, con el fin de calcular las pérdidas así como los costos de oportunidad debidos a la limitación de las actividades por causa de la generación de punta.

#### 2.4.4 Informe de Síntesis (EPIDOR, 2001)



El Informe de Síntesis de los estudios llevados a cabo por EPIDOR para lograr un acuerdo-marco respecto de la mitigación del *hydropeaking* en la cuenca del Dordogne consta de cuatro apartados:

1. Características del fenómeno de *hydropeaking* en los ríos estudiados
2. Estado del conocimiento respecto de los impactos de la generación de punta sobre los distintos aspectos de la gestión de los ríos
3. Programas de acción: lista validada de acciones, que se agrupan en cuatro grandes familias: (i) actuar sobre el régimen de caudales, (ii) actuar sobre el medio, (iii) informar mejor, (iv) aumentar los conocimientos. La estimación de los costos para la categoría "actuar sobre el régimen de caudales" se apoyó en simulaciones técnicas y económicas echas por EDF [empresa pública], mientras que las cifras para las acciones relativas a "actuar sobre el medio" fueron obtenidas con expertos y consultando en terreno. Notar que las familias de acciones se entregan del (i) al (iv) según su orden de prioridad estratégica.
4. Elementos a considerar para la definición del acuerdo-marco y su implementación: la negociación a iniciar pronto sobre la gestión del *hydropeaking* en la cuenca de la Dordogne requerirá un enfoque que integre los aspectos reglamentarios, técnicos y económicos de las distintas soluciones propuestas.

El documento inicia con una síntesis del estado actual y de los impactos ambientales, ecológicos y socio-ambientales de la generación de punta (temas (1) y (2), revisados en los dos trabajos anteriores). Plantea luego las distintas acciones de mitigación y compensación, agrupadas en las cuatro categorías recién mencionadas, entregando una tabla de costos estimativos de las distintas medidas. Concluye con las posibles estrategias para lograr un acuerdo-marco para mitigar los impactos del *hydropeaking*.

#### 2.4.4.1 Acciones sobre el régimen de caudales

##### I. Acción 1: Caudal mínimo

El aumentar los caudales mínimos ("caudales ecológicos" según la terminología chilena) implica modificar las reglas de gestión de los volúmenes almacenados en los distintos embalse ubicados aguas arriba de los tramos de interés. Tales cambios se traducen en nuevas restricciones que modifican la rentabilidad económica de las centrales, redundando en un perjuicio económico causado por el diferencial de producción, en relación con las condiciones de funcionamiento actual. Esto ha sido evaluado por EDF, la principal concesionaria de centrales en la cuenca, siguiendo una metodología interna que no ha sido analizada por el directorio de gobernanza de EPIDOR. El basarse en otras hipótesis de cálculo (por ejemplo, de la garantía de servicio) podría resultar en cifras distintas.

##### II. Acción 2: Actuar sobre los gradientes

Mediante el análisis hidráulico, se establecieron relaciones características entre el caudal y el ancho mojado. Para caudales contenidos dentro del cauce menor, los gradientes de variación (o *ramping rates*) deben ser inferiores a 20 cm/h para evitar impactos ecológicos. Cuando el cauce menor ya

está cubierto, los cambios de caudal casi no afectan el ancho mojado, pudiendo entonces usarse gradientes mayores, aunque aquí ya deben considerarse los aspectos relacionados con la seguridad de las personas. El reducir los gradientes otorga menos flexibilidad en el uso de los volúmenes, y por ende en la optimización económica de una serie de centrales. Es difícil evaluar el costo de estas medidas, aunque EDF estima que el perjuicio se ubica en un rango (amplio) de entre 85 mil a 340 mil dólares anuales (de hoy), para una de sus centrales.

#### 2.4.4.2 Acciones sobre el medio

La compensación o limitación de los efectos de la generación de punta sobre la fauna mediante medidas de restauración del cauce y sus riberas constituye aún un tema exploratorio, que guarda relación con la ingeniería ecológica, tal como el diseño de obras para el paso de peces. En consideración a la ausencia de experiencias significativas, se proponen proyectos experimentales, con acciones limitadas en el tiempo y espacio, que cubran distintos aspectos. Algunas de estas acciones necesitarán de autorizaciones por modificación del cauce.

Se prevé entonces implementar las distintas acciones de modificación del cauce, y validarlas sistemáticamente, de modo que aquellas que resulten exitosas puedan aplicarse a tramos más largos.

##### I. Acción 1: Creación de refugios faunísticos

En aquellos tramos más encajonados, el impacto de las fuertes variaciones de cota y velocidad puede verse reducido creando estructuras de refugio.

##### II. Acción 2: Actuar sobre los brazos muertos y cauces laterales

Las condiciones hidrológicas en la Dordogne y algunos de sus tributarios resultan en hábitats degradados, con riesgo de entrapamiento para la fauna acuática, en los brazos muertos y cauces laterales, lo que puede mitigarse con medidas de restauración física del lecho.

##### III. Acción 3: Actuar sobre el cauce principal de la Dordogne

En un tramo con alto valor para la reproducción de peces, se plantea profundizar el cauce de modo de evitar que los nidos queden secos durante los pulsos negativos de caudal.

#### 2.4.4.3 Mejorar la información

Los pulsos por *hydropeaking* son percibidos por los usuarios afectados como un fenómeno aleatorio, que escapa a cualquier predicción, ya que no hay relación alguna entre, por ejemplo, la lluvia caída y los caudales pasantes por un tramo. El objeto de esta medida es que cualquier persona que lo desee disponga de información en tiempo real sobre las cotas y los caudales.

Existen los medios técnicos para seguir estos fenómenos casi en tiempo real. Como los tiempos de desfase pueden llegar a las 36 horas en la parte baja del río, sería perfectamente posible conocer anticipadamente la ocurrencia de pulsos. La principal dificultad radica en la forma que tendría tal

información, de modo que fuese accesible a un público amplio, pero sin introducir riesgos de confusión respecto a un tema que es sensible.

#### 2.4.4.4 Aumentar el conocimiento

Finalmente, el estudio de EPIDOR recomienda llevar a cabo una serie de investigaciones sobre temas como el potencial piscícola de algunos de los tramos, cartografía de las zonas de reproducción de peces, fluctuaciones de la napa freática ribereña, e interacciones con la temperatura del agua.

#### 2.4.4.5 Estrategias para lograr un acuerdo-marco

El programa contempla una primera fase de negociación y movilización de los actores institucionales, y en una segunda etapa, la coordinación de acciones con otras instituciones, la mayoría ONGs ambientales. Se plantea que EPIDOR (EPTBD) juegue este rol transversal, reconociéndose que el contexto institucional para llevar a cabo el programa es complejo.

Los resultados principales del estudio muestran que el *hydropeaking* podría continuar, con una mejor aceptación social y una reducción de sus impactos ecosistémicos, si se implementaran las distintas acciones propuestas. Esto ya se considera un avance muy importante, considerando el cambio de mentalidad respecto de las temáticas ambientales.

Las principales dudas abiertas en torno al programa de acciones son:

- El reducir los impactos de la generación de punta, ¿es una obligación legal o reglamentaria a imponer a los concesionarios?
- Sabiendo que estas medidas tendrán costos, ¿quiénes deberán asumirlos?
- El beneficio colectivo que lograrán estas acciones, ¿será a lo menos equivalente a su costo?

Asu vez, se plantean tres caminos distintos para llegar a resultados concretos:

- La vía reglamentaria según el cual el Estado, en nombre del interés general, revisaría las autorizaciones y reglas para las centrales que están causando los daños constatados. Tal revisión modificaría las condiciones de operación de la central concesionada, pudiendo o no haber una indemnización, según sea el caso.
- La vía contenciosa o judicial, en cuyo caso se solicitaría un arbitraje jurídico respecto de las relaciones entre la operación (autorizada en los decretos de concesión) y la constatación de que no se cumplen las leyes, en particular aquellas relativas al ambiente. De llevarse a cabo, esta opción debería evidenciar las incoherencias (u obsolescencias) eventuales entre los decretos de concesión (antiguos) y el derecho actual.
- La tercera vía, que es la que se privilegia en el esquema de gestión (SDAGE), es la de conciliar intereses divergentes, mediante contratos. Tiene la ventaja de permitir una negociación (nadie pierde ni gana), y hace intervenir a otros actores que el que concedió el derecho y el concesionarios. Varios organismos locales, agencias del agua y asociaciones de diversa índole se convierten en socios financieros y técnicos.

¿Se excluyen mutuamente estas tres vías? La ventaja del enfoque contencioso es que permitiría establecer claramente el rol y las responsabilidades legales de cada una de las partes. Estos temas van mucho más allá que la cuenca de la Dordogne, por lo que un resultado por esta vía tendría repercusiones a nivel nacional. A la vez, significaría una derrota para la política de acuerdos y contratos preconizada por la ley del agua francesa.

La vía reglamentaria será una etapa obligatoria, ya que las medidas relacionadas con “actuar sobre el régimen de caudales” obligarán a modificar la operación de varias concesiones. Sin embargo, como co-firmante del SDAGE, el Estado indicó su voluntad de conciliar e implicar a los actores locales. El camino del contrato ya permitió la elaboración de un diagnóstico y de un proyecto de plan de acciones. Las medidas que no tengan que ver con modificar el régimen de caudales (caudal mínimo y gradientes), pueden lograrse mediante contratos que están al alcance de los actores locales. El SDAGE, sin embargo, no puede imponerse a las decisiones administrativas en el marco de concesiones hidroeléctricas válidas; sólo puede hacer recomendaciones.

La principal dificultad surge de los costos de implementación extremadamente altos, ya que están a la escala de las cifras de negocios de las centrales hidroeléctricas. No fue posible demostrar un equilibrio entre los costos del perjuicio energético y las ganancias que traerán las medidas para el ambiente y las actividades en los valles. La información disponible actualmente (pescadores profesionales, navegación turística, guías de pesca, etc.) muestra que los impactos económicos son reales, y que van acompañados de efectos ecológicos y patrimoniales que son difíciles de monetarizar.

## 2.5 Impactos del *hydropeaking* en Chile

Como se indicó, en el caso chileno es muy poca la literatura disponible sobre los efectos del *hydropeaking*. Meier (1992a, 1992b, 1993, 1995) discute el diseño de algunos (en ese entonces) proyectos hidroeléctricos chilenos, indicando que éste los condicionaba a operar de punta. Plantea genéricamente los potenciales impactos de tal esquema de operación sobre las actividades de riego, la seguridad de pescadores, y la integridad ecológica de los sistemas fluviales. Como posible medida para evitar estos impactos, Meier propuso en estos trabajos, con anterioridad a la ejecución de los proyectos, que su diseño fuese cambiado, incorporando turbinas de tamaños desiguales, escalonados. De esta manera, podrían funcionar de manera más continuada durante los períodos de estiaje, con bajos caudales, sin necesidad de operar con *hydropeaking*. Por cierto, esto no habría correspondido a una medida de mitigación, sino que a una forma de permitir una operación sin fluctuaciones intradiarias, lo cual tal vez no era lo deseado.

García *et al.* (2010) analizan los efectos del *hydropeaking* sobre la calidad del hábitat para ocho especies nativas de la parte central del Río Biobío. El estudio se hizo en un tramo representativo, correspondiente a un río divagante, con lecho de grava y bolones. Se programó un modelo hidráulico, el cual se asoció a un modelo de simulación del hábitat de peces. Las preferencias de hábitat para las ocho especies se obtuvieron mediante un proceso de lógica difusa, ya que no existía información anterior al respecto. El modelo de hábitat se hizo correr para hidrogramas observados, tanto anteriores a la ocurrencia de los pulsos de *hydropeaking*, como posteriores, indicando cómo la disponibilidad total de hábitat, así como su idoneidad hidráulica, cambian con los pulsos. Los resultados sugieren que las especies nativas analizadas debieran ser altamente

susceptibles a las fluctuaciones, ya que la cantidad, calidad y ubicación de los parches de hábitat cambian demasiado por causa del *hydropeaking*.

Por otra parte, Olivares (2008) estudió la optimización de embalses con restricciones ambientales, y recientemente ha modelado los impactos que tendrían algunas medidas de mitigación del *hydropeaking* sobre los precios de la electricidad, para ver las relaciones costo/beneficio de distintas medidas de gestión ambiental (Olivares *et al.*, 2015). Sin embargo, estos trabajos no guardan relación con los impactos del *hydropeaking* propiamente tal, sino más bien con los efectos que tendrían medidas para mitigarlo sobre otros aspectos, por ejemplo, el precio de la electricidad. En particular, para el caso analizado, Olivares *et al.* (2015) encuentran que pueden lograrse mejoras ambientales vía medidas operacionales, a costa de un incremento muy menor en el precio de la electricidad.

Haas *et al.* (2015) modelan el comportamiento del SIC para diferentes escenarios de penetración de generación eólica en Chile, demostrando que ello incorporaría una mayor variabilidad temporal de corto plazo a la oferta, que se sumaría a la variabilidad de la demanda. Como consecuencia de ello, aumentaría la necesidad de usar *hydropeaking* para asegurar la estabilidad del sistema eléctrico.

El único caso en Chile de mitigación estructural de los impactos del *hydropeaking* del que estos consultores tengan conocimiento corresponde al Contra-embalse Rucacura, ubicado aguas abajo del complejo hidroeléctrico del Duqueco (Centrales Peuchén y Mampil). Esta obra fue exigida en la Resolución de Calificación Ambiental del proyecto, de modo de amortiguar los pulsos por *hydropeaking*.

Otro caso, en el que se evitó potencialmente los impactos del *hydropeaking* fue el de la CH San Pedro, que inicialmente fue pensada para generación de punta, pero finalmente se cambió a un proyecto que, de construirse, operará sin alterar los caudales pasantes a ninguna escala de tiempo, lo que fue presentado en el Estudio de Impacto Ambiental y aprobado en la Resolución de Calificación Ambiental correspondiente.

### 3. Ocurrencia de *hydropeaking* en ríos de Chile

El presente capítulo da respuesta a lo requerido en los Objetivos Específicos 1 y 3 del estudio. El primero de éstos (OE1) guarda relación con la identificación de ríos en Chile que sufren variaciones intradiarias de caudal producto de la generación de punta. La pregunta que se solicita responder aquí es: ¿cuántos ríos representativos de Chile sufren variaciones intradiarias de caudal producto de la generación de punta?

El segundo de estos objetivos (OE3) apunta a identificar cómo afectan tales variaciones por *hydropeaking* a los demás usos competitivos en cuencas chilenas. La pregunta relacionada que se pretende contestar en este caso es: ¿cómo afectan actualmente las oscilaciones del *hydropeaking* a los demás usuarios de una cuenca?

Si bien las bases solicitan una muestra representativa de ríos para abordar el OE 1, en la propuesta se planteó encontrar todos y cada uno de los ríos de Chile que potencialmente pudieran estar sometidos a *hydropeaking*, para luego analizar cuantitativamente las fluctuaciones en cada uno de ellos. La búsqueda se limitó a centrales hidroeléctricas con una potencia instalada mayor a 1 MW. En el caso del OE 3, su logro debe basarse en la aplicación de entrevistas semi-estructuradas a la comunidad, según bases. En este caso, se complementaron las entrevistas, de mayor profundidad, con sondeos rápidos de opinión, de manera de poder cubrir una mayor muestra. Ambos instrumentos se aplicaron en tres ríos representativos.

A continuación, se explica detalladamente la metodología de trabajo para lograr estos dos objetivos. Luego, en la Sección 3.2, se presenta el listado de ríos potencialmente sometidos a *hydropeaking* en Chile, con sus características así como las de las centrales que causan tales pulsos. Para un ejemplo representativo de central y tramo de río, en el Acápite 3.3 se efectúa un análisis cuantitativo de la magnitud, duración y frecuencia de los eventos de *hydropeaking*. Luego, en la Sección 3.4 se resume los resultados del análisis, dando una visión global de la ocurrencia de *hydropeaking* en Chile. El Acápite 3.5, a su vez, entrega los resultados acerca de la percepción de la generación hidroeléctrica de punta, y de sus impactos, sobre otros usos del agua y los ríos. Se concluye el capítulo con una síntesis respecto de las externalidades del *hydropeaking* en ríos chilenos, basada en: (i) la exhaustiva revisión bibliográfica del Capítulo 2, (ii) la descripción cuantitativa acerca de la ocurrencia de *hydropeaking* en ríos chilenos (Acápites 3.2 al 3.4), y (iii) la percepción de otros usuarios y habitantes de las cuencas, respecto de la generación de punta y sus impactos (Acápite 3.5).

#### 3.1 Metodología detallada de trabajo

La metodología para el análisis cuantitativo del *hydropeaking*, tendiente a graficar la ocurrencia del fenómeno en Chile, se subdivide en: (i) recolección de datos; (ii) selección de centrales que pueden potencialmente afectar tramos de ríos; (iii) caracterización de las centrales y de los tramos; (iv) análisis cuantitativo del *hydropeaking*.

A su vez, la metodología relacionada con la percepción que tienen los habitantes y usuarios de las cuencas, en torno al *hydropeaking* y sus impactos sobre otros usos considera: (i) encuestas y (ii) sondeos rápidos de opinión.

### 3.1.1 Recolección de datos

La forma más directa de conocer cuántos ríos en Chile - y cuáles ríos - sufren potencialmente los efectos del *hydropeaking*, consiste en disponer de un listado de todas las centrales hidroeléctricas que operan en el país. Como se indicó, en el presente estudio nos hemos limitado a aquellas plantas con una potencia instalada mayor o igual a 1 MW, ya que es muy difícil encontrar información respecto de las más pequeñas. De hecho, muchas de ellas ni siquiera están en red.

A su vez, el caso ideal para analizar los pulsos de caudal en los distintos tramos, y determinar si hay efectos del *hydropeaking*, para luego cuantificarlos, sería contar con datos hidrológicos en la restitución (esto es, al pie) de cada central, para todos y cada uno de tales tramos, a una escala temporal detallada (por ejemplo, con paso de tiempo de un minuto, o de 5 min como máximo).

Sin embargo, en Chile sólo una proporción relativamente pequeña de tramos aguas abajo de centrales hidroeléctricas cuenta con estaciones fluviométricas de la Dirección General de Aguas. Además, la frecuencia de muestreo de los sensores de presión, que permiten determinar la altura del agua y por ende el caudal, es de una hora.

Finalmente, aunque hubiera una o más estaciones ubicadas aguas abajo, puede tenerse una serie de efectos que confundan la señal de caudales entregada al pie de la central, como son extracciones para riego o bien para otras centrales, ingreso de tributarios (algunos de los cuales a su vez pueden sufrir fluctuaciones por *hydropeaking*), amortiguamiento de los pulsos por presencia de fuerte almacenamiento o bien por flujos hiporreicos, etc.

Por todos los motivos anteriores, y con el objetivo de conocer todos los ríos que pudieran potencialmente verse afectados por operaciones de generación de punta, la mayor parte del presente capítulo se basa en datos de potencia entregados por el Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central (CDEC-SIC de aquí en adelante). Los únicos dos casos en que se analizaron directamente datos hidrológicos corresponden a: (i) un río transnacional que sufre pulsos de *hydropeaking* impuestos por una central hidroeléctrica en Argentina, en cuyo caso se analizaron datos de la Dirección General de Aguas (DGA), y (ii) una central pequeña, perteneciente a un sistema aislado, para la cual se disponía de datos propios.

Se hace notar que hay a lo menos una central más en Chile central, en un sistema aislado privado, que podría estar operando de punta y causando *hydropeaking*, cuyos datos no pudieron obtenerse. En todo caso, el tramo potencialmente afectado por esta central es relativamente corto (< 10 km), ya que se ubica sobre un tributario de un río mayor.

Por otra parte, los Sistemas de Aysén, Palena y General Carrera cuentan con cuatro centrales hidroeléctricas con potencia instalada mayor a 1 MW, de las cuales la más grande (11 MW) se ubica entre dos lagos (el de aguas abajo de gran superficie), por lo cual no afecta ningún sistema fluvial. La segunda más grande (6.6 MW) afecta un tramo corto (< 2 km) de un cauce profundo, afecto a variaciones de marea, por lo que el impacto, si lo hubiera, sería muy acotado. No pudo encontrarse información respecto de otra de estas centrales, ni tampoco hay estación fluviométrica aguas abajo de ella, por lo que no se consideró en el análisis.

Estos dos casos serán probablemente los únicos tramos con *hydropeaking* (potencial) en Chile que no quedarán analizados ni descritos en el presente estudio.

#### 3.1.1.1 Datos del CDEC-SIC

A través de la Contraparte Técnica del Ministerio de Energía, se contactó al CDEC-SIC, solicitando información técnica de todas y cada una de las centrales hidroeléctricas (y sus unidades turbogeneradoras respectivas) del SIC, así como series de tiempo de la potencia de generación.

A través de su Oficio Ordinario N°829 del 3 de Julio del 2015, el CDEC-SIC entregó información de 103 centrales hidroeléctricas. Salvo pocas excepciones, para cada una de ellas se dispone de una muestra de 8760 datos, correspondientes a su respectiva consigna horaria de despacho, en MW, para las 24 horas de 365 días correspondientes al período entre el 1° de Julio de 2014 y el 30 de Junio de 2015. En algunos casos de centrales recientemente inauguradas, no se contaba con datos para todo el período.

A su vez, las características técnicas entregadas por el CDEC-SIC para cada una de las centrales (o al menos, para la mayoría de éstas) son las siguientes:

- Tipo de central: Embalse o Pasada
- Tipo y cantidad de unidades: Cuántas turbinas y de qué tipo (por ejemplo, Pelton o Francis) y tamaño (potencia)
- Potencia mínima técnica de generación en MW
- Potencia máxima bruta de generación en MW
- Capacidad (volumen) de regulación en hm<sup>3</sup> (millones de m<sup>3</sup>)
- Rampa de subida en MW/min
- Rendimiento promedio en MW/(m<sup>3</sup>/s)

#### 3.1.1.2 Datos de la DGA

Desde el sitio web en tiempo real de la DGA, se obtuvieron los datos de caudales instantáneos horarios para el período 1-07-2014 al 30-06-2015 (el mismo que para los datos del CDEC-SIC), de modo de poder analizar las fluctuaciones de determinados ríos.

#### 3.1.1.3 Datos del equipo de investigación

Inmediatamente aguas abajo de la restitución de una central pequeña, que capta agua desde un lago y la devuelve a un estero, se ubicó durante dos meses y medio (30.10.2013 al 13.04.2014) un sensor de presión, para medir las cotas de agua, y se efectuaron cinco aforos de modo de calibrar una curva de descarga. Si bien el tramo potencialmente afecto a *hydropeaking* es muy corto, del orden de 1 km, corresponde al único lugar en que se dispone de datos más detallados, muestreados cada 5 minutos, por lo que se decidió analizar esta serie de caudales.



### 3.1.2 Selección de centrales con potencial para *hydropeaking*

Para cada una de las 103 centrales hidroeléctricas del SIC identificadas en la información entregada por el CDEC-SIC, se aplicó el siguiente protocolo, de modo de descartar aquellas que no tuvieran potencial de causar efectos en tramos fluviales, debido a operación de punta:

- a) Se buscó información en internet, acerca de su localización, y cada central fue ubicada visualmente en Google Earth, identificándose su captación o bocatoma, la casa de máquinas, y su punto de restitución. En los casos de algunas centrales muy recientes (todas pequeñas, con potencias instaladas menores a 10 MW), no existían aún imágenes satelitales que mostrasen las obras, pero en muchas se pudo encontrar evidencia de los movimientos de tierra asociados a su construcción. En la mayor parte de los casos, bastó con la información entregada en los sitios web de los propietarios y/o los constructores y proveedores de las centrales, así como con lo disponible en el web del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA; [www.sea.gob.cl](http://www.sea.gob.cl)). En pocos casos, cuando la información no lo permitía, se tuvo que recorrer visualmente los paisajes por Google Earth, hasta encontrar las obras. Sólo hubo dos casos (una central de 1.04 MW y otra de 1.1 MW) en que no se pudo ubicar físicamente centrales recientes, al no haber información alguna, ni siquiera en el SEA.
- b) Se descartó todas aquellas centrales que: (i) entregasen directamente a un lago o al mar, (ii) devolvieran sus caudales directamente a canales de riego, (iii) entregasen un caudal ecológico constante (centrales secundarias, al pie de presa, para turbinar el caudal ecológico para un tramo *by-passeado*, en proyectos que restituyen cierta distancia hacia aguas abajo), (iv) restituyesen a otras centrales hidroeléctricas ubicadas en serie, hacia aguas abajo, o (v) entregasen caudales muy menores directamente a sistemas fluviales con descargas vastamente mayores (dos o más órdenes de magnitud mayor). En efecto, en todos estos casos no se estará afectando ningún tramo de cauce natural, o bien la variación será muy menor con respecto a los caudales del cuerpo receptor, por lo que puede plantearse *a priori* que no habrán efectos debidos al *hydropeaking*.

Como resultado de este proceso, se obtuvo un listado de 38 centrales hidroeléctricas del SIC, con potencial para causar *hydropeaking* en tramos de ríos. Sumando un caso extraído de la DGA y la central del sistema aislado para la cual se tenían datos propios, se analizó entonces un total de 40 centrales con sus tramos de río aguas abajo de la restitución.

### 3.1.3 Caracterización de las centrales y de los tramos

Cada una de las 40 centrales hidroeléctricas identificadas en la Sección 3.1.2, así como sus tramos de cauce potencialmente afectados, se numeraron sin ningún orden específico, para proceder luego a levantar la siguiente información desde las fuentes que se indica:

- a) Latitud Sur en que se ubica el punto de restitución, obtenida desde Google Earth. Éstas se agruparon en los siguientes rangos latitudinales: Norte (N, 29 a 33°), Centro (C, 33 a 37°), Sur (S, 37 a 41°), y Austral (A, 41 a 45°).
- b) Tramo potencialmente afectado por *hydropeaking*, determinado en Google Earth. Su inicio de aguas arriba corresponde en cada caso al punto de restitución de la central, mientras

que se consideraron los siguientes criterios para su final, aguas abajo: (i) cauce desemboca en un lago, mar, estuario o embalse, (ii) cauce confluye con otro de magnitud igual o mayor (basado subjetivamente en ancho de los cauces), (iii) se llega a una bocatoma transversal que extrae una proporción importante del caudal (basado subjetivamente en la serie de imágenes históricas de Google Earth), (iv) hay una cantidad acumulada de bocatomas menores que permiten presumir que se ha extraído una proporción importante del caudal.

- c) Pendiente media (en %) del tramo potencialmente afectado, desde GoogleEarth.
- d) Longitud del tramo potencialmente afectado, en cinco categorías: < 5 km, 5 a 10 km, 10 a 20 km, 20 a 50 km, > 50 km.
- e) Grado de afectación ambiental actual del tramo, en cinco categorías: mínima, mínima-intermedia, intermedia, intermedia-máxima, máxima. Esto se relevó subjetivamente desde las imágenes Google Earth, considerando también el conocimiento personal de la mayoría de los tramos, tomando en cuenta aspectos como: cantidad y extensión de extracciones de áridos; cercanía a zonas urbanas; presencia de industrias y agro-industrias a lo largo del cauce y sus tributarios; presencia de vegetación natural a lo largo del cauce, y su carácter; cantidad y tamaño de bocatomas de riego; presencia de actividad minera; vertidos de plantas de tratamiento de aguas servidas y de pisciculturas a lo largo del tramo, etc.
- f) Tipo de cauce: aluvial (A), semi-confinado (SC), o bien confinado (C), según se observa en las imágenes Google Earth. Cuando el tramo potencialmente afectado muestra varios tipos, se indican todos, desde el de mayor prevalencia hasta el de menor.
- g) Patrón o estilo morfológico del cauce: recto (R), sinuoso (S), meandriforme (M), divagante (D) o trezado (T). Cuando el tramo muestra varios patrones, se indican todos, desde el de mayor prevalencia hasta el de menor. Observado desde las imágenes Google Earth.
- h) Material del lecho en el tramo: arena (A), grava (G), o bolones (B). Esto se obtuvo en base al conocimiento personal de cada tramo, cliqueando sobre las fotografías mostradas en Google Earth, pero sobre todo efectuando búsquedas de imágenes en internet, para los tramos de interés. En algunos casos, para cauces menores, no fue posible encontrar información acerca del material del lecho.
- i) Ancho del cauce activo del tramo, en seis categorías: < 10 m, 10 a 20 m, 20 a 50 m, 50 a 100 m, 100 a 200 m, > 200 m. Esto se obtuvo desde Google Earth, usando la herramienta "regla" promediando al menos cinco secciones transversales del tramo potencialmente afectado.
- j) Tamaño de la central, indexado según el logaritmo de su potencia instalada, en tres categorías: 1 a 10 MW, 10 a 100 MW, 100 a 1000 MW.
- k) Tipo de central hidroeléctrica, según la categorización del CDEC-SIC: de embalse (E), de pasada (P), o bien en serie (S, en cuyo caso, sólo puede tratarse de la última en la serie, que sí restituye a un cauce con potenciales efectos). Para los fines del presente estudio, importa saber si una central es de pasada o de embalse, o mejor aún, cuál es su volumen de regulación, ya que en teoría es necesario regular para causar *hydropeaking*, a menos que se trate de la última central en una serie, que sólo reflejará la capacidad de regular de las que se encuentren aguas arriba.
- l) Volumen de regulación de la central, en hm<sup>3</sup> (millones de m<sup>3</sup>), según indica el CDEC-SIC, en cinco categorías: sin regulación, < 0.01 hm<sup>3</sup>, 0.01 a 1 hm<sup>3</sup>, 1 a 100 hm<sup>3</sup>, > 100 hm<sup>3</sup>.

### 3.1.4 Análisis cuantitativo del *hydropeaking*

Considerando la gran cantidad de potenciales lugares con *hydropeaking*, y la necesidad de comparar fácilmente entre éstos para poder resumir y sintetizar, el análisis cuantitativo solicitado en la Actividad 1.1 se entregará primordialmente a la forma de gráficas.

En primer lugar se mostrarán distintos análisis preliminares efectuados directamente sobre los datos de despacho horario entregados por el CDEC-SIC. Éstos dan una visión adecuada acerca de la ocurrencia de eventos de *hydropeaking*, y de su magnitud absoluta y relativa.

Luego, para formalizar el análisis de la magnitud de los eventos, incluyendo también descripciones de su frecuencia y duración, se hará uso del *software* COSH (Sauterleute y Charmasson, 2014), una herramienta computacional reciente, desarrollada específicamente para caracterizar las fluctuaciones bruscas de caudal causadas por generación de punta.

#### 3.1.4.1 Análisis de los datos CDEC-SIC

Las consignas horarias de despacho entregadas por el CDEC-SIC corresponden a la planificación de corto plazo de lo que generará un central en las próximas horas, en MW. Esto no es exactamente lo mismo que lo que se termina generando realmente, pero en promedio sí son valores muy cercanos. Debido al carácter exploratorio del presente estudio, en que por primera vez se intenta obtener una visión global de la ocurrencia de *hydropeaking* en Chile, se considera que estos datos son adecuados, es decir, es un buen supuesto asumir que la potencia realmente generada fue la misma que aquella indicada en la consigna de despacho.

#### I. Caudal turbinado

Disponiendo de los datos de potencia horaria, es posible recalcular el caudal horario turbinado, aplicando la ecuación básica de la hidroelectricidad:

$$P = \eta \cdot \gamma \cdot Q \cdot \Delta H$$

donde:

P es la potencia generada en W

$\eta$  es la eficiencia de generación, adimensional

$\gamma$  es el peso específico del agua, 9810 N m<sup>-3</sup>

Q es el caudal turbinado en m<sup>3</sup>/s

$\Delta H$  es la altura de caída en m

Aplicar esta ecuación es más complejo de lo que parece, ya que sólo  $\gamma$ , el peso específico del agua, puede realmente considerarse constante (a pesar que depende muy levemente de la temperatura del agua).

La eficiencia de generación  $\eta$  se suele asumir en torno a 0.90 para centrales modernas, pero si se requiere más detalle, es necesario explicitar qué pérdidas se considera, dentro de la serie de posibles conversiones requeridas para pasar desde la energía potencial bruta del agua, asociada al

desnivel o altura bruta de caída entre la cota del agua en el embalse o la cámara de carga y la restitución, y la energía eléctrica entregada a las líneas de transmisión.

Más importante aún es la variabilidad introducida en la eficiencia al alejarse del punto nominal: cuando se turbinan caudales menores (o mayores) al óptimo,  $\eta$  puede disminuir considerablemente, según sea el tipo de turbina y su velocidad específica. Por otra parte, al variar la cota en un embalse (y también, en menor medida, la cota del agua en la restitución según sea el caudal pasante por el río), cambiará también  $\Delta H$ .

Según lo anterior, no es simple escoger un factor único de rendimiento, que permita obtener el caudal turbinado conociendo la potencia generada. Teóricamente, este factor se obtiene invirtiendo la ecuación anterior, de modo que:

$$Q = 1 / (\eta \cdot \gamma \cdot \Delta H) \cdot P$$

donde:

$R = \eta \cdot \gamma \cdot \Delta H$  es el rendimiento, en MW/(m<sup>3</sup>/s)

En el presente caso, el CDEC-SIC informa el valor de R promedio para 22 de las 38 centrales del SIC que hemos considerado para análisis, para las cuales es posible entonces calcular directamente los caudales turbinados horarios, bajo el supuesto que la variabilidad de R es baja en comparación con la de los caudales.

Para las otras 16 centrales, en que el CDEC-SIC no entrega un valor del rendimiento promedio, se hizo lo siguiente:

- Se determinó la altura bruta de caída, ya sea por información provista en internet (sitios de las generadoras, o bien de constructoras o proveedores), o bien tomando las cotas de aguas arriba y de aguas abajo desde Google Earth.
- Se calculó el valor de R considerando una eficiencia de 0.88, que se obtuvo probando con las 22 diferentes centrales para las cuales el CDEC-SIC sí entrega un valor.

Para validar esta metodología, se compararon los valores de R obtenidos independientemente con aquellos entregados por el CDEC-SIC para 38 centrales del listado original con 103, obteniéndose la Figura 3.1, a continuación:

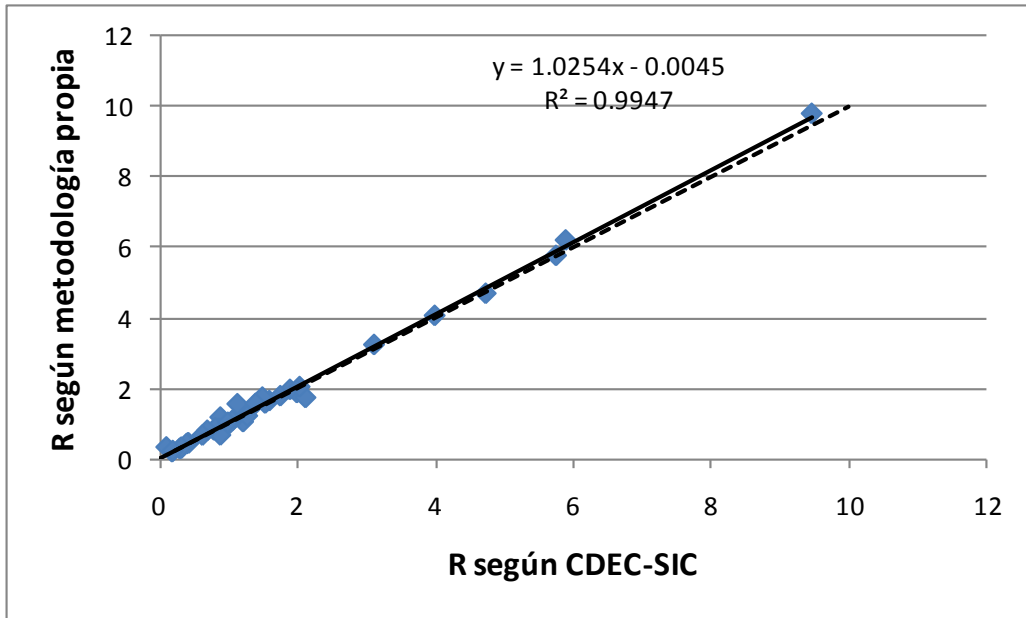


Figura 3.1. Relación entre los factores de rendimiento propuestos por el CDEC-SIC y aquellos calculados con la metodología propuesta en este trabajo. La línea punteada corresponde a la de 45°, mientras que la línea continua es una regresión lineal.

Se observa que la metodología propuesta es capaz de reproducir muy bien los valores del CDEC-SIC, de manera independiente, por lo que se utilizó para calcular R para las 16 centrales que no contaban con datos.

De esta manera, contando con un valor adecuado del factor de rendimiento R para cada una de las 38 centrales en estudio, se generó la serie horaria de caudales turbinados para cada una de ellas, la que se analizó posteriormente en busca de eventos de *hydropeaking*.

## II. Caudales normalizados

Si bien la caracterización de cada central y tramo, descrita en la Sección 3.1.3, entrega información indirecta de diversa índole acerca del tamaño relativo del cauce (por ejemplo, a través del ancho, o de la longitud del tramo afectado, o bien del tamaño de la central), se generó una manera más directa de incorporar visualmente esta información, para cada caso: Se obtuvo el caudal promedio turbinado durante el año, y se graficó luego la serie de caudales normalizados o estandarizados por este caudal medio anual.

Esto permite visualizar de mejor manera la magnitud de las fluctuaciones de caudal, ya que éstas se muestran relativas al valor promedio, en vez de ser valores absolutos. Por ejemplo, fluctuaciones de  $\pm 50 \text{ m}^3/\text{s}$  en un río con un caudal medio anual de  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  serían a priori menos severas que si ocurriesen en un río con caudal medio de  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ , aunque tuvieran la misma magnitud absoluta.

Es importante destacar aquí que estos análisis basados en caudales turbinados no reflejan completamente la hidrología de cada tramo bajo análisis. Esto puede ocurrir por variadas razones, entre las que se cuentan las siguientes:

- Muchas centrales deben dejar pasar un caudal ecológico, el cual no está incorporado en el análisis. Éste aminora relativamente los efectos de los pulsos.
- Algunas centrales restituyen en puntos bastante alejados de la captación, pudiendo haber descargas afluentes o extracciones en el tramo intermedio, las cuales tampoco se consideran.
- En épocas de caudales altos, y durante eventos de crecida, pasará una proporción apreciable de los caudales por sobre el vertedero o la bocatoma, lo que no queda reflejado en los datos. Estos vertidos incrementan el caudal medio anual en el sitio, disminuyendo así la importancia relativa de las fluctuaciones.

Por todos estos motivos, la metodología aquí planteada, basada en caudales turbinados, no puede considerarse correcta para aplicarse a un caso de estudio detallado, de un tramo en particular, en el cual se deseara describir adecuadamente las características de los eventos de *hydropeaking*. En los hechos, cualquier análisis hidrológico detallado de los efectos de la generación de punta sobre un tramo debe necesariamente efectuarse en comparación con el régimen natural del río, disponiendo de una serie adecuada de caudales medidos. Por otra parte, este estudio tiene alcance global, ya que interesa presentar y comparar la situación a lo largo del país, y para ello se considera que esta metodología es más que adecuada.

### III. Tiempos de respuesta

Finalmente, con las consignas horarias de despacho en MW, y disponiendo de las rampas teóricas de subida en MW/min, entregadas por el CDEC-SIC, se calculó y graficó la variación del tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho.

#### 3.1.4.2 Análisis con el software COSH

COSH es una herramienta computacional recientemente desarrollada en el CEDREN (Centro para Diseño Ambiental de Energías Renovables, Trondheim, Noruega), por Julian Sauterleute y Julie Charmasson, investigadores de SINTEF Energy Research (Sauterleute y Charmasson, 2014), quienes autorizaron su uso para el presente estudio. Este programa analiza series de tiempo de caudales (y también de cotas de agua), y está específicamente desarrollado para caracterizar la magnitud, frecuencia, duración, y *timing* (momento de ocurrencia de un evento, se usará el término en inglés de aquí en adelante) de las fluctuaciones bruscas causadas por la generación de punta.

#### I. Análisis inicial y reconocimiento de eventos

Una vez ingresada la serie de datos (de caudales, en nuestro caso), se pueden aplicar diversos tratamientos, como por ejemplo, definición de estaciones, eliminación de *outliers*, interpolación de datos faltantes, etc. En el presente caso, no se utilizó ninguno de dichos tratamientos preliminares, trabajándose con las series completas, tal cual como se obtuvieron a partir de los datos de potencia entregados por el CDEC-SIC. En todo caso, como medida de la calidad y completitud de los datos, para cada análisis se calculó la cantidad de datos horarios faltantes en la serie.

El programa reconoce la ocurrencia de *hydropeaking* identificando incrementos y decrementos bruscos del caudal, basado en umbrales para la tasa de cambio (la derivada temporal) del caudal.

Analiza de manera independiente los eventos de subida (*rapid increase events*) y los de bajada (*rapid decrease events*). Los umbrales para determinar qué constituye (o no) un evento de *hydropeaking*, versus una "subida" o "bajada" normal del caudal, se obtienen de un análisis estadístico de todas las "subidas" y todas las "bajadas", escogiendo percentiles más o menos extremos para determinar la cantidad de eventos de *hydropeaking*.

Así, el primer gráfico que entrega COSH para cada central analizada es la serie de tiempo de los caudales, con los distintos eventos de subida y de bajada identificados. Habiendo reconocido todos los eventos de *hydropeaking*, COSH procede a analizar los tiempos entre eventos, su frecuencia, duración, horario, etc. Incluso, en análisis detallados, se puede incorporar las condiciones de luz (noche, día, penumbra), relevantes desde el punto de vista ecológico (ver Secciones 2.2 y 2.3).

## II. Duración de los eventos

Para graficar la duración de los eventos de alto y de bajo caudal, COSH entrega dos funciones de distribución acumuladas (fda): (i) la fda de las duraciones entre el fin de cada evento de subida y el inicio del evento de bajada que le sigue, que describe cuánto duran los caudales altos o *peaks*, y (ii) la fda de las duraciones entre el fin de cada evento de bajada y el inicio del evento de subida siguiente, que describe cuánto duran los pulsos bajos o valles.

## III. Timing de los eventos

El *timing* de los eventos se refiere a los momentos del día en que ocurren las subidas bruscas ("eventos de subida") y las bajadas bruscas ("eventos de bajada"). Es muy fácil visualizar esto, ya que COSH entrega las distribuciones o histogramas de la cantidad de eventos que ocurren en cada una de las 24 horas del día, una para los eventos de subida y otra para los de bajada.

## IV. Frecuencia de los eventos

También es muy fácil visualizar la frecuencia de ocurrencia de eventos de *hydropeaking*, mediante dos diagramas de barras (uno para subidas y el otro para bajadas) que muestran cuántos días en la serie de tiempo se tiene uno, dos, tres, etc. eventos diarios.

## V. Magnitud de los eventos

COSH entrega información en término de caudales, graficando la razón adimensional ("*flow ratio*") entre el caudal máximo y mínimo para cada evento. También entrega valores de las tasas máximas de cambio del caudal ("*maximum rate of change*", valor máximo de la derivada temporal del caudal), en m<sup>3</sup>/s/h. En nuestro caso sólo disponemos de valores horarios, por lo que las tasas de cambio serán muy inferiores a las reales. Para el análisis de la magnitud de las fluctuaciones, nos limitaremos a discutir los resultados obtenidos con nuestra metodología.

### 3.1.5 Entrevistas y sondeos sobre percepción del *hydropeaking* e impactos

A continuación, se entrega los detalles metodológicos asociados al Objetivo Específico 3 del estudio, "Identificar cómo afectan, en general, las variaciones intradiarias de caudal producto de la generación de punta, a los demás usos competitivos dentro de la cuenca." Con este fin, se

elaboraron dos instrumentos, una entrevista semi-estructurada y un sondeo rápido de opinión, los que fueron aplicados a una muestra de habitantes y usuarios en tres cuencas de Chile central, con ocurrencia de *hydropeaking* fuerte, según los resultados de los análisis cuantitativos (véase Acápites 3.2 al 3.4). Las tres cuencas fueron seleccionadas en acuerdo con la Contraparte Técnica para el estudio, de manera de incluir al menos usuarios de los sectores silvo-agropecuario, turístico, y de sistemas de agua potable rural, que pudiesen estar siendo afectados potencialmente por las fluctuaciones debidas a la generación de punta.

#### 3.1.5.1 Objetivo de la entrevista

El presente estudio consideró la elaboración de un cuestionario de entrevista, con preguntas semi-estructuradas y de aplicación cara a cara, el cual se aplicó a una muestra de 13 personas, según se detalla en Tabla 3.3 (véase resultados en Sección 3.5), con el objeto de identificar su percepción y experiencia en torno a la temática del *hydropeaking*. La entrevista o conversación en profundidad tuvo por objetivo principal identificar las opiniones y experiencia de actores relevantes vinculados con los usos silvo-agropecuario, turístico, y de agua potable rural, en cada una de las tres cuencas consideradas. Más específicamente, se buscó indagar respecto de sus percepciones y grado de conocimiento acerca del proceso de generación hidroeléctrica de punta, así como también de sus consecuencias o impactos positivos y negativos.

La sistematización y posterior análisis de las entrevistas permitió, además, complementar la revisión bibliográfica de la primera fase del estudio, cuyo objetivo principal era conocer el Estado del Arte en materia de generación hidroeléctrica de punta y de medidas específicas para mitigar los efectos de las variaciones intra-diarias de caudal, asociadas a la operación de punta de centrales hidroeléctricas.

La entrevista constituye un poderoso instrumento metodológico para obtener información primaria y conocer, para un amplio espectro de actores sociales, sus percepciones, objetivos, intereses, grados de conocimiento, expectativas de procesos, metas y otros aspectos relevantes asociados con las materias propias del presente estudio. A través de las entrevistas, se pretende identificar los efectos que tienen las variaciones intra-diarias de caudal en tres ríos representativos de Chile, sujetos a esta forma específica de generación hidroeléctrica, sobre otros usos y/o actividades que comparten dichos recursos hídricos y cuerpos de agua, como son la agricultura, riego, pesca y turismo, entre otros. En definitiva, se trata de identificar los impactos *percibidos* por los usuarios de un río.

#### 3.1.5.2 Estructura de la Entrevista

La entrevista o conversación en profundidad se realizó en tres etapas, que se describen a continuación:

- a) **Parte I, Introductoria:** En esta fase se explicaron los objetivos y alcances del estudio, además de mencionar la razón por la cual la persona fue seleccionada y para qué fines será utilizada la información obtenida. Se solicitó al entrevistado su autorización para grabar la conversación, exponiendo los motivos. Se explicó, además, el rol de la institución que ejecuta este estudio.
- b) **Parte II, Entrando en Materia:** Aquí, el entrevistador realizó una breve introducción al sistema eléctrico chileno, particularmente acerca de los beneficios e impactos de la



generación hidroeléctrica de punta, mencionando dentro de éstos las variaciones de caudal de los ríos. Luego, a través de una serie de preguntas, se buscó conocer la opinión del entrevistado respecto de los siguientes aspectos:

- Grado de conocimiento del entrevistado respecto al concepto de “generación hidroeléctrica de punta” o “*hydropeaking*”
  - Conocimiento del entrevistado acerca de los beneficios e impactos específicos y concretos asociados a esta forma de operación y generación de energía hidroeléctrica
  - Identificación de las consecuencias ecológicas, económicas y sociales asociadas a la generación hidroeléctrica de punta, y de la percepción del entrevistado respecto a posibles medidas de mitigación, compensación u otras
- c) **Parte III, Finalizando la Entrevista:** En esta parte el entrevistador realizó una síntesis de los temas conversados, destacando aquellos aspectos que consideró más relevantes, prioritarios o jerárquicos, con el objetivo de cotejar la opinión del entrevistado y, de este modo, conocer sus prioridades y las del sector social al cual representa. Se reiteró el uso que se dará a la información, destacando la entrevista como un espacio de diálogo y participación de actores sociales.

### 3.1.5.3 Criterios de Selección de Actores

Para seleccionar los actores relevantes a entrevistar, se consideró principalmente que representaran a diferentes usuarios -y usos- de los recursos hídricos y cuerpos de agua que, potencialmente, están siendo afectados por las variaciones intra-diaras de caudal asociadas a la generación hidroeléctrica de punta, en los tres ríos seleccionados.

Las opiniones de las personas seleccionadas y posteriormente entrevistadas representan a diferentes instituciones, y sus ideas pueden ser consideradas representativas de un grupo mayor de individuos, comunidades, organizaciones, gremios o empresas, respecto de las materias propias de la entrevista y del estudio. Sus opiniones reflejan experiencias acumuladas, basadas en procesos y situaciones reales de las cuales han sido partícipes y observadores, en este caso respecto a las variaciones de caudal en los ríos seleccionados para este estudio, producidas por generación hidroeléctrica de punta.

### 3.1.5.4 Sondeos rápidos de opinión

En el marco del estudio, se propuso realizar sondeos de opinión en cada una de las tres cuencas seleccionadas, pensados como un método rápido de obtención de información en torno a algún tema específico, en este caso particular, los impactos de la generación hidroeléctrica de punta. Para ello, se confeccionó un cuestionario con preguntas, a partir de los objetivos específicos del estudio, el cual se aplicó luego en terreno, sistematizando la información recogida para obtener una visión general del tema.

Los sondeos rápidos de opinión pública miden actitudes y opiniones de personas en temas sociales, políticos y ambientales. Forman parte de los instrumentos metodológicos de las ciencias sociales. El objetivo básico es medir la opinión de un grupo social respecto a una determinada materia de interés. Este sondeo se realiza, comúnmente, con aplicación de breves cuestionarios cuyos resultados entregan un primer panorama o visión respecto al tema analizado.

Este sondeo tuvo por objetivo conocer la percepción de los habitantes y usuarios de las tres cuencas hidrográficas seleccionadas, respecto de los efectos, positivos o negativos, asociados a las variaciones de caudal provocadas por la denominada generación hidroeléctrica de punta. Se intentó así determinar, a través de conversaciones cortas, sistematizadas en un breve cuestionario, el grado de conocimiento que poseen las personas sobre este proceso de generación de energía hidroeléctrica, así como sus consecuencias ecológicas, económicas y sociales.

## I. Cuestionario

Las preguntas que orientaron la conversación con las personas entrevistadas tuvieron como objetivo principal evaluar su grado de conocimiento respecto al proceso de generación hidroeléctrica de punta. Para ello, y con la finalidad de no influir o sesgar la respuesta del entrevistado, se preguntó de manera indirecta sobre:

- Conocimiento de Centrales Hidroeléctricas (CHs) ubicadas aguas arriba de su lugar de residencia
- Cambios observados en el río desde la instalación de la CH: tipos de cambio, origen de los cambios, y sus consecuencias

## II. Muestra

Las personas fueron seleccionadas aleatoriamente, distribuyéndose en las riberas derecha e izquierda de los tres ríos escogidos para este estudio. Fueron seis (6) las comunas circundantes, en las cuales se realizaron entrevistas y toma de opinión, en quince (15) lugares distintos. En definitiva, se realizaron veintiún (21) sondeos rápidos, siete (7) para cada uno de los tres ríos seleccionados para este estudio.

Los criterios de selección de la muestra fueron que se tratara de personas cuyas viviendas y/o actividades productivas se ubicasen próximas a los tramos definidos en cada río y que, por lo tanto, poseyeran una experiencia o relación cotidiana con el río.

## III. Sistematización de los resultados

Se relevaron los efectos del *hydropeaking* identificados en las conversaciones, diferenciando entre actores locales y terceros interesados (estos últimos principalmente funcionarios públicos). Los distintos impactos y medidas de mitigación mencionados fueron tabulados, y analizados en comparación con la literatura relevada en el Acápite 2.4. También se identificaron y sintetizaron las distintas ideas-fuerza mencionadas por los entrevistados.

En el caso de los sondeos rápidos de opinión, se tabularon las frecuencias de respuestas a las distintas preguntas del cuestionario, relacionadas con el conocimiento de la presencia de centrales hidroeléctricas en la cuenca, así como los cambios observados en el río, con su origen y consecuencias.

## 3.2 Listado de ríos con *hydropeaking* potencial

En este acápite se entregan los resultados del análisis semi-cuantitativo que describe todas las centrales hidroeléctricas en Chile, y tramos asociados, con potenciales impactos del *hydropeaking*. En la Tabla 3.1 se entregan las características de las centrales identificadas como potencialmente causantes de pulsos, que fueron seleccionadas con la metodología descrita en la Sección 3.1.2, así como de los tramos de ríos correspondientes. En esta tabla, las variables documentadas para cada tramo/central, son las siguientes (mayores detalles en la Sección 3.1.3):

- Lat: Corresponde al rango latitudinal donde se ubica (N, norte; C, centro; S, sur; A, austral)
- $S_o$ : Pendiente media del tramo afectado por *hydropeaking*
- $L_{tramo}$ : longitud en km del tramo afectado por *hydropeaking*
- Afectación: se refiere a los impactos ambientales actuales en el tramo
- Carácter: morfología a la escala macro (tramo confinado, semi-confinado, aluvial)
- Patrón: es el estilo fluvial (recto, sinuoso, meandriforme, divagante o trenzado)
- Lecho: se refiere al material predominante del lecho (arena, grava, bolones)
- Tipo: indica el tipo de central (de paso P, embalse E, o pasada en serie S)
- $V_{reg}$ : se refiere al rango de volumen de regulación (hm<sup>3</sup>), según CDEC-SIC

Notar que todas las variables cuantitativas fueron agrupadas en intervalos de clase, según solicitó la Contraparte Técnica del estudio. Los intervalos se seleccionaron arbitrariamente, pero de modo que aumentara su ancho para los valores mayores (excepto la latitud).

Según esta información, la gran mayoría de los tramos con potenciales efectos del *hydropeaking* se ubica en la zona central (C, entre 33 y 37°) y sur (entre 37 y 41°) del país:

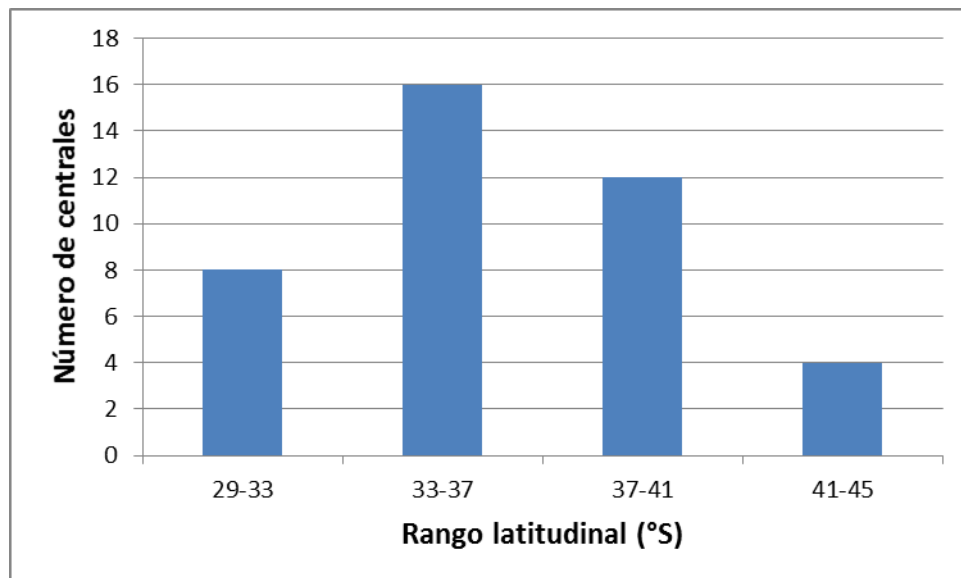


Figura 3.2 Ubicación según latitud de los tramos potencialmente sometidos a efectos del *hydropeaking*

Tabla 3.1 Listado de centrales y tramos de ríos con potenciales efectos de la generación de punta.

Central #	Lat	So (%)	L <sub>tramo</sub> (km)	Afectación	Carácter	Patrón	Lecho	Ancho (m)	Potencia (MW)	Tipo	V <sub>reg</sub> (hm <sup>3</sup> )
1	C	1.9	20 - 50	INT	A, SC, C	S	B	50 - 100	10 - 100	P	-
2	S	0.2	> 50	MIN - INT	A, SC	D	G, B	> 200	100 - 1000	E	1 - 10
3	S	1	5 - 10	MIN- INT	A	T	G, B	> 200	100 - 1000	S	1 - 10
4	N	1.2	20 - 50	MAX	A	S, T	G, B	50 - 100	10 - 100	P	-
5	C	1.1	20 - 50	INT	A, SC, C	S	G, B	100 - 200	100 - 1000	P	0.1 - 1
6	A	0.5	< 5	MIN	A	S, M	?	< 10	1 - 10	P	-
7	S	1.3	< 5	MIN	A, SC	S	?	< 10	1 - 10	P	-
8	A	0.8	< 5	MIN	A	S	?	10 - 20	1 - 10	P	-
9	S	1	< 5	INT	A, SC	S	?	< 10	1 - 10	P	-
10	S	0.4	> 50	INT	A	S, M	A, G	10 - 20	1 - 10	P	-
11	S	1.9	< 5	INT	A	S	?	< 10	1 - 10	P	-
12	A	1.5	10 - 20	MIN	A	D, T	G, B	50 - 100	1 - 10	P	-
13	C	0.9	20 - 50	INT - MAX	A, SC	S	G, B	100 - 200	10 - 100	P	-
14	S	0.8	5 - 10	MIN	A, SC	S	G, B	10 - 20	1 - 10	P	-
15	C	0.8	> 50	INT	A, SC	S, T	G, B	100 - 200	100 - 1000	P	0.1 - 1
16	S	0.2	10 - 20	INT	A	T	A	> 200	10 - 100	P	-
17	S	5.9	< 5	MIN	A	R	G, B	10 - 20	1 - 10	P	-
18	S	0.7	5 - 10	MIN - INT	A	S	G	20 - 50	10 - 100	P	0.1 - 1
19	N	2.2	20 - 50	INT - MAX	A, SC	S	A, G	< 10	10 - 100	P	< 0.01
20	S	3.1	< 5	MIN - INT	A	S	G	< 10	1 - 10	P	-
21	C	1.6	10 - 20	INT	SC, C	S	G, B	50 - 100	10 - 100	P	-
22	S	1.1	< 5	MIN	A	S	G, B	20 - 50	10 - 100	S	0.1 - 1
23	S	0.5	20 - 50	MIN	SC, C	S	G, B	> 200	100 - 1000	E	10 - 100
24	S	0.5	< 5	MIN	SC, C	S	G	20 - 50	10 - 100	P	100 - 1000
25	N	1	20 - 50	INT - MAX	A, SC	S	G, B	50 - 100	1 - 10	P	-
26	S	0.7	< 5	MIN - INT	A	M	G	50 - 100	10 - 100	P	1 - 10
27	C	0.8	20 - 50	MAX	A	T	G, B	> 200	10 - 100	P	-
28	C	1.5	20 - 50	INT	SC, C	S	G, B	50 - 100	10 - 100	P	-
29	S	0.5	20 - 50	MIN - INT	A	D, T	G	> 200	10 - 100	S	-
30	C	0.2	20 - 50	INT	A, SC	S	A, G	100 - 200	100 - 1000	E	100 - 1000
31	S	0.9	5 - 10	MIN	A, SC	M	G, B	10 - 20	1 - 10	P	-
32	S	0.3	20 - 50	MIN - INT	A	D	G	50 - 100	1 - 10	P	-
33	S	0.7	20 - 50	MIN	A	S	?	10 - 20	1 - 10	P	-
34	C	1.1	20 - 50	MIN - INT	A, SC	S	G, B	10 - 20	1 - 10	P	-
35	S	0.3	20 - 50	MIN	SC, C	S	G	50 - 100	10 - 100	P	1 - 10
36	C	6.2	5 - 10	MIN	A	S, T	B	20 - 50	10 - 100	P	-
37	C	0.5	20 - 50	INT	A	D, T	G	> 200	10 - 100	S	-
38	C	0.9	10 - 20	INT - MAX	A	T	G	> 200	10 - 100	S	-
39	A	0.4	> 50	MIN	A, SC, C	S, M, D	G, B	100 - 200	100 - 1000	E	-
40	A	?	< 5	MIN	A	S, M	G	< 10	1 - 10	E	-

Por otra parte, se tiene un amplio rango de pendientes del lecho para los tramos potencialmente afectados, aunque todos están por sobre 0.2 %, o 2 ‰, que es un valor de base relativamente alto en comparación con otros países o continentes, en que hay muchos cauces con pendientes bajas. A su vez, la moda, entre 0.8 y 1.5%, corresponde a una pendiente fuerte.

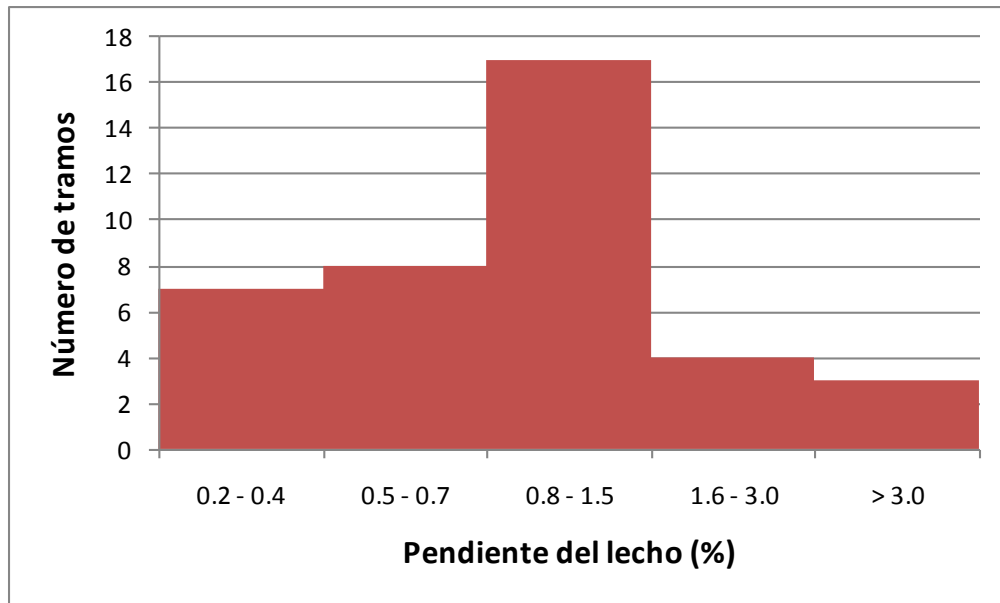


Figura 3.3 Rangos de pendiente del lecho (%) de los tramos potencialmente afectados por *hydropeaking*

A su vez, la Figura 3.4 muestra la distribución de la longitud de los tramos potencialmente afectados, con una moda en el rango entre 20 y 50 km. Si se cruza esta información en la Tabla 3.1 con los anchos de los cauces (ver distribución en Figura 3.5), se observa una correlación positiva (tramos más largos afectados coinciden con ríos más anchos), lo que podría indicar que los efectos de la generación de punta están afectando a una longitud apreciable de los ríos medianos y grandes de Chile central. Esto tiene connotaciones para la conservación de la biodiversidad propia de tal tipo de sistemas fluviales.

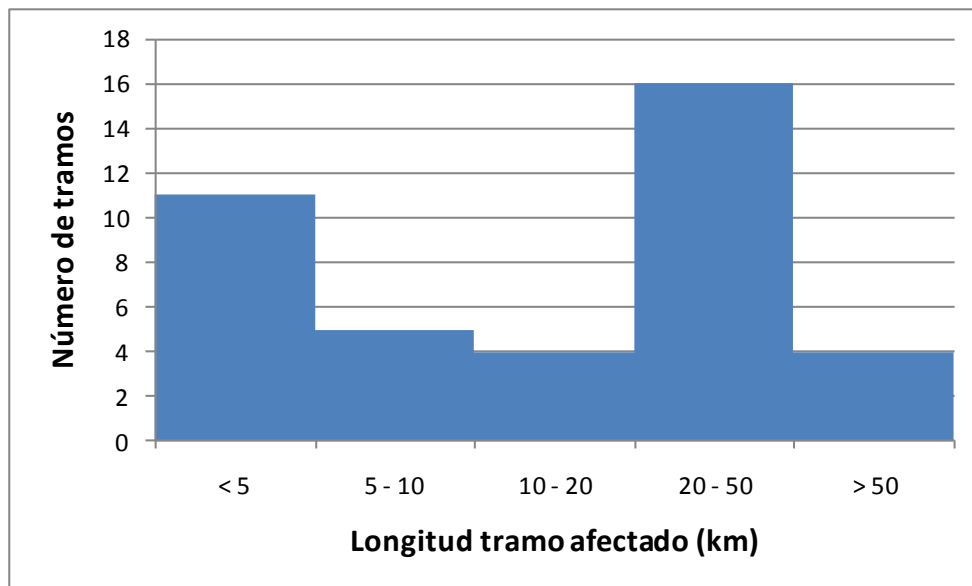


Figura 3.4 Distribución de la longitud de los tramos potencialmente afectados por *hydropeaking*

En la Figura 3.5 se observa que los tramos potencialmente afectados son de todos los tamaños, según las categorías, las que fueron arbitrariamente escogidas de modo de aumentar el rango en una escala aproximadamente logarítmica.

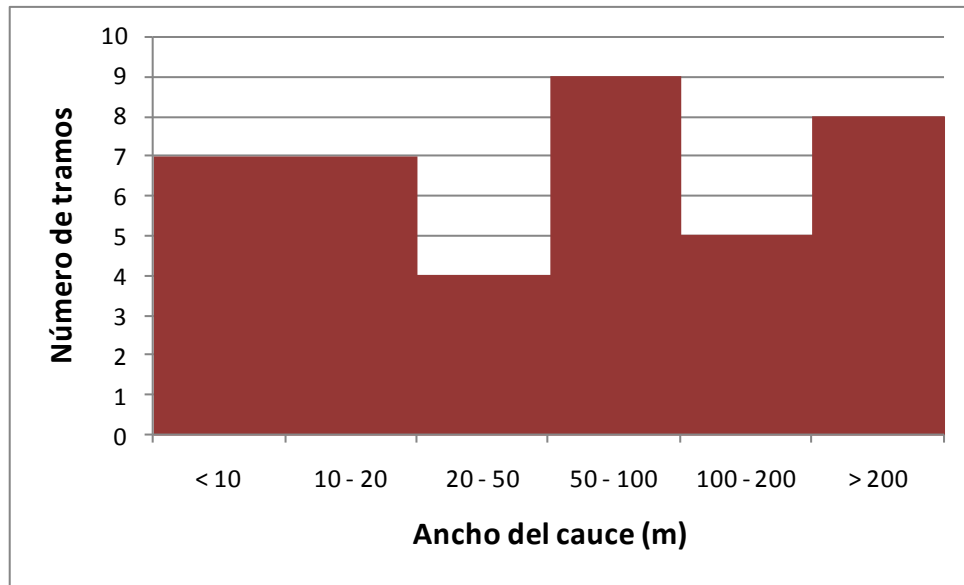


Figura 3.5 Distribución de los anchos del cauce, para tramos potencialmente afectados

En cuanto al material del lecho, hay un fuerte sesgo hacia lechos gruesos, sea de grava (G), grava y bolones (G, B), o bien bolones (B), tal como se aprecia en la Figura 3.6:

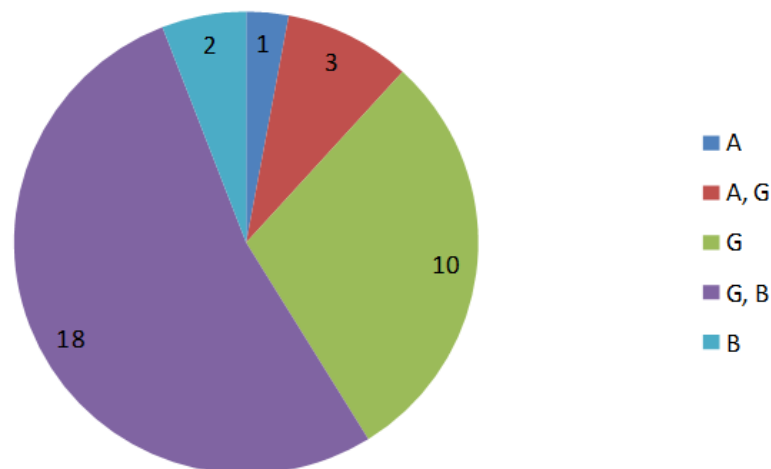


Figura 3.6 Distribución de los materiales del lecho en tramos potencialmente afectados por *hydropneaking*

De la Tabla 3.1 y las Figuras 3.2 a la 3.6, se concluye que el universo de ríos potencialmente afectados por generación de punta en Chile cubre 40 tramos desde la Latitud 29 hasta 45°S, de un amplio rango de tamaños, con pendientes relativamente altas y materiales del lecho gruesos. Se observan tanto ríos confinados como aluviales, así como casos intermedios, con todo el rango de patrones morfológicos asociados a lechos gruesos. Una proporción apreciable de los tramos potencialmente sujetos a efectos del *hydropneaking* tiene longitudes mayores a los 10 km. Si bien

hay algunos tramos en sectores altamente degradados por otras actividades antrópicas, la mayoría corresponde a zonas con impacto ambiental bajo o mediano.

### 3.3 Ejemplo del análisis cuantitativo del *hydropeaking*

Como se explicó en la Sección 3.1.4, las series de tiempo de potencia despachada en MW, entregadas por el CDEC-SIC fueron convertidas a hidrogramas de caudales turbinados, en m<sup>3</sup>/s. Luego, éstas fueron a su vez procesadas de manera de obtener, para cada ubicación en análisis, una serie de gráficas que caracterizaran la magnitud (absoluta y relativa), la duración, la frecuencia, y el *timing* de los eventos de *peaking*.

Los resultados del análisis cuantitativo de las series, para cada una de las 40 centrales que potencialmente podrían estar causando *hydropeaking*, afectando así a los tramos de río ubicados hacia aguas abajo, se entregan en el Anexo 1. Aquí, se comentan los resultados obtenidos para la Central 1, que se usa de manera de ejemplificar el enfoque aplicado. A continuación, en la Sección 3.4, se sintetizan los resultados obtenidos de este análisis, aplicado a todas las centrales, de manera de obtener conclusiones generales.

La Central 1 corresponde a una central de paso, que no posee capacidad de regulación según la información entregada por el CDEC-SIC, aunque los volúmenes de sus bocatomas, desarenadores y sobre todo de las cámaras de carga (observados en Google Earth y obtenidos de un informe que describe las obras) debieran permitir alguna alteración de los caudales, al menos a la escala horaria.

En este caso en particular sólo faltan sólo 66 datos horarios de las 8760 horas que hay en el año, por lo que se trata de un registro completo, para todos los fines prácticos.

La Figura 3.7a corresponde al despacho horario para la Central 1, para el año de datos considerado (entre las 00:00 del 1 de Julio de 2014 y las 24:00 del 30 de Junio de 2015), en unidades de potencia despachada (MW).

La Figura 3.7b es el hidrograma de caudales turbinados por la Central 1, para ese mismo período de análisis, obtenido mediante la ecuación presentada en la Sección 3.1.4.

La Figura 3.7c, a su vez, corresponde al hidrograma normalizado por el caudal medio anual turbinado. En virtud de que las transformaciones para obtener las Figuras 3.7b y 3.7c a partir del gráfico de la Figura 3.7a son lineales, las tres figuras se ven iguales, variando sólo la escala de las ordenadas.

Finalmente, la Figura 3.7d muestra el tiempo de respuesta necesario para alcanzar cada consigna de despacho, en minutos. En teoría, mientras más corto sea, mayor será la tasa de cambio del caudal; en los hechos, por disponerse sólo de datos a la escala horaria, es muy poco lo que puede decirse al respecto.

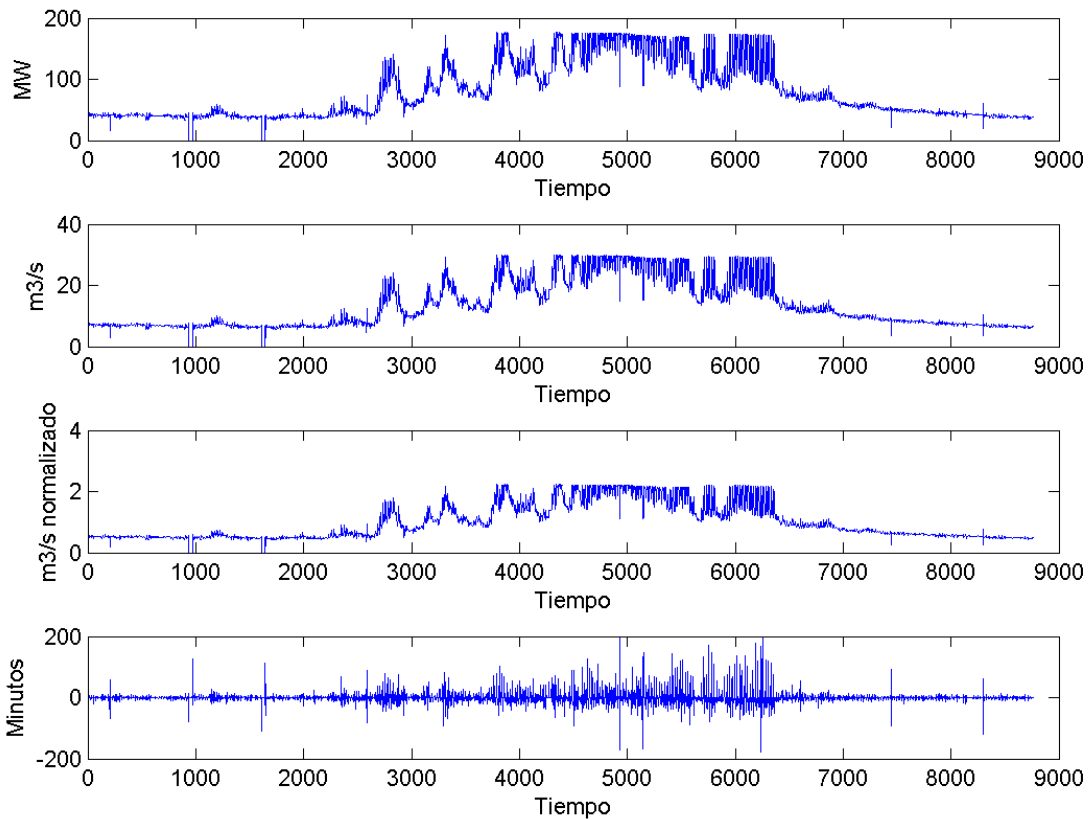


Figura 3.7 Comportamiento estimado en operación real de la Central 1. Desde arriba hacia abajo:  
 a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado por la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

En la gráfica de la potencia despachada (Figura 3.7a), así como en los tres hidrogramas mostrados (que corresponden a las Figuras 3.7b, 3.7c, y 3.8) se observa una fuerte estacionalidad en el patrón de generación de punta, ya que tanto los caudales turbinados así como las fluctuaciones son bastante mayores en los meses de primavera y verano, cuando ocurre el deshielo del manto nivoso. El caudal generado se mantiene casi constante en invierno, en un valor mínimo, con fluctuaciones muy bajas respecto a ese valor. Las fluctuaciones máximas, en verano, tienen una magnitud en torno a los 10 a 15 m<sup>3</sup>/s, con valores del caudal normalizado que no superan un umbral en torno a 2.

La Figura 3.8 presenta en azul la serie de tiempo de los caudales, siendo esta curva igual a la del hidrograma la Figura 3.7b. Sin embargo, la Figura 3.8 también identifica los distintos eventos de punta detectados por COSH, tanto de subida como de bajada, según el criterio de búsqueda que se le haya entregado. Es importante recordar aquí que un pulso positivo de caudal causado por generación de punta, que típicamente se consideraría como un solo evento, COSH lo toma como la suma de dos eventos, uno de subida y luego otro de bajada.



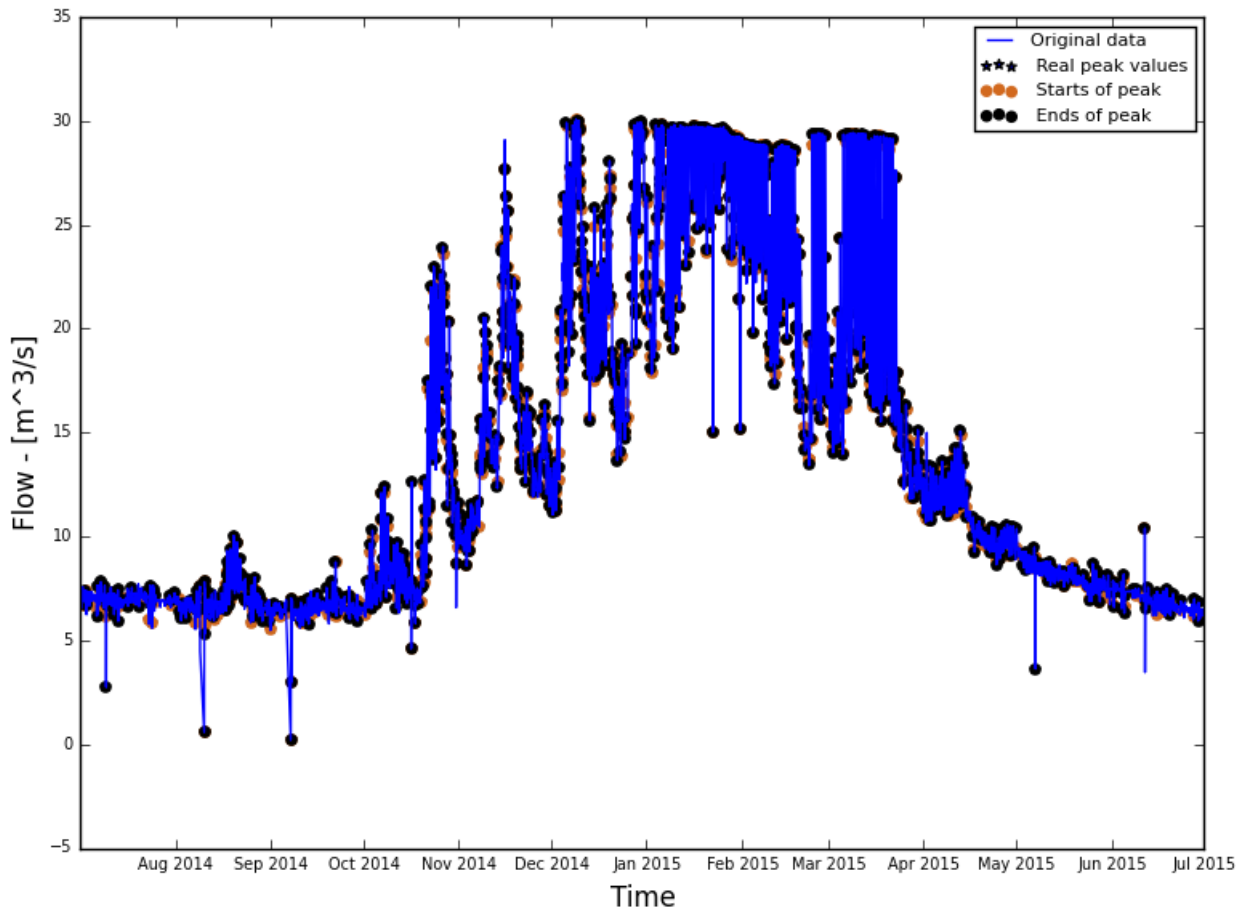


Figura 3.8 Serie de tiempo con eventos de *hydropeaking* detectados por COSH

Al observar el hidrograma generado por COSH, se destacan mejor algunos eventos con caudales anormalmente bajos, que posiblemente debieran eliminarse de la serie de datos – son potenciales *outliers*. Este tipo de análisis, disponible en el software COSH, no se efectuó en este estudio, ya que requiere conocer mucho más de la hidrología de cada tramo de río, y de las características técnicas y de operación de cada central y sus unidades, lo que está fuera de los alcances del presente estudio.

La Figura 3.9, también producida por COSH, entrega la distribución acumulada de las duraciones entre eventos; arriba se muestran las duraciones de los peaks, esto es, entre el fin de una subida de caudal y el inicio del descenso que le sigue, mientras que abajo se grafica la distribución de las duraciones de los valles, es decir, entre el fin de una bajada y el inicio del próximo evento de subida.

En cuanto a las duraciones, la Figura 3.9 indica que aproximadamente el 90% de los *peaks*, con caudal alto, y también el 90% de los valles, con caudal bajo, duran 12 horas o menos.

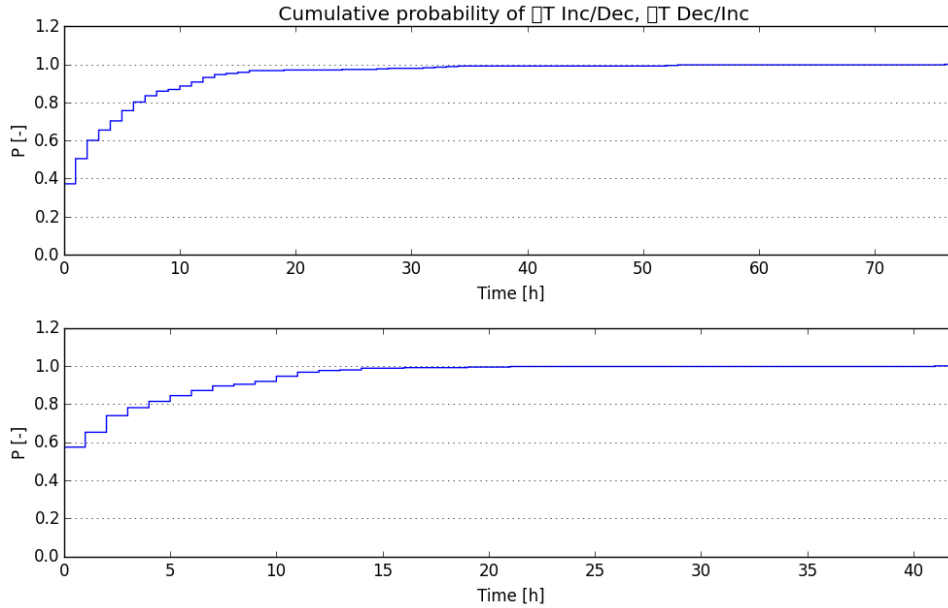


Figura 3.9 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

A su vez, la Figura 3.10 entrega los resultados de COSH en relación al *timing* de los eventos, esto es, las horas del día en que tienden a ocurrir los eventos. En la gráfica superior se muestra la cantidad de ocurrencias (la cantidad de eventos de subida) para cada una de las horas del día, mientras que la gráfica inferior grafica lo mismo, pero para los eventos de bajada.

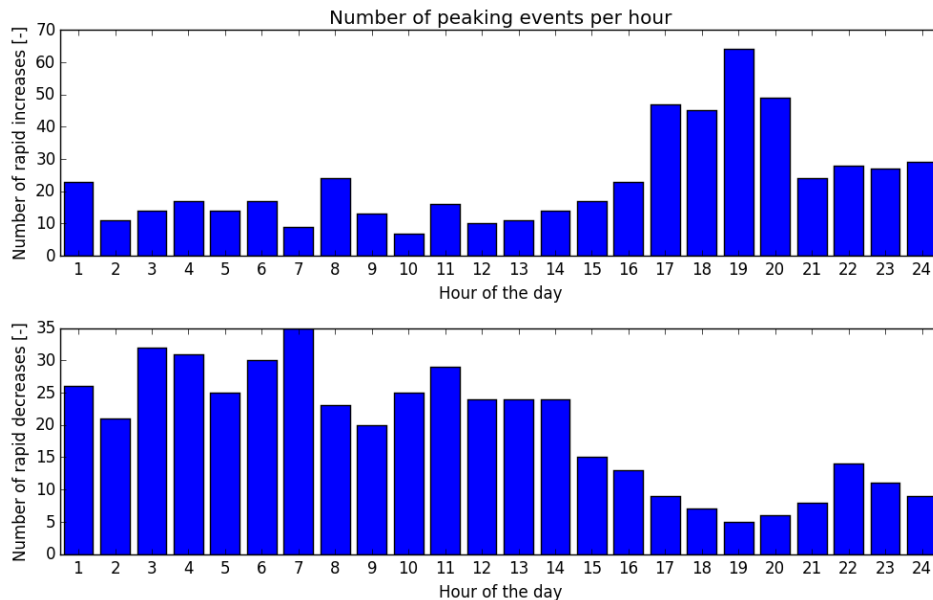


Figura 3.10 Distribución horaria de eventos de *hydropeaking*  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

Se observa que, en el caso de la Central 1, las horas del día con mayor ocurrencia de eventos de subida rápida son entre las 17 y las 20, seguidas de una frecuencia intermedia hasta la 1 de la

madrugada. Por otra parte, la gráfica inferior indica que los decrementos ocurren uniformemente desde la medianoche hasta el mediodía.

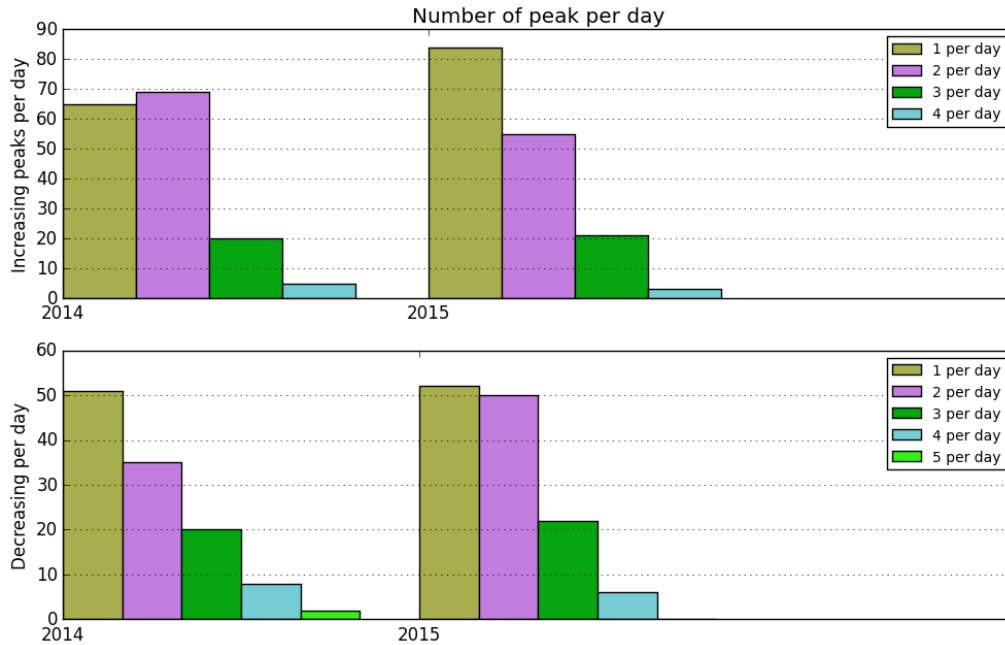


Figura 3.11 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

A su vez, la Figura 3.11 muestra la frecuencia relativa de eventos por día. La mayor parte de los días del año se tiene ya sea uno o dos eventos, tanto de subida como de bajada, pero hay aún una proporción relevante de días con tres, o incluso cuatro eventos de *peaking*.

La Figura 3.12 muestra las tasas máximas de cambio – *ramping rates* - en unidades de caudal por tiempo ( $m^3/s/h$ ), indicando la mediana en rojo (percentil 50), los percentiles 25 y 75 con la caja azul, los percentiles 10 y 90 con los bigotes negros, y todos los valores fuera de ese rango, individualizados con cruces azules.

Como es costumbre, la gráfica superior muestra la situación para los incrementos de caudal (las “subidas”), mientras que la inferior hace lo mismo para los decrementos de caudal (“bajadas”).

Corresponde mencionar que este gráfico no es de mucha utilidad en el presente análisis, puesto se sólo se dispone de datos horarios, los que definitivamente no permiten estimar las tasas de cambio reales de los caudales. Más importante aún: como se indicó en la Sección 3.1 de metodología, la forma en que COSH determina qué es (o no es) un evento es bastante arbitraria. La única forma de hacer este análisis de manera informada sería comparando con las tasas de ascenso y descenso naturales para el tramo en cuestión, durante las fases de ascenso y recesión de las crecidas. Sin embargo, ello requeriría un estudio hidrológico adecuado para cada tramo.

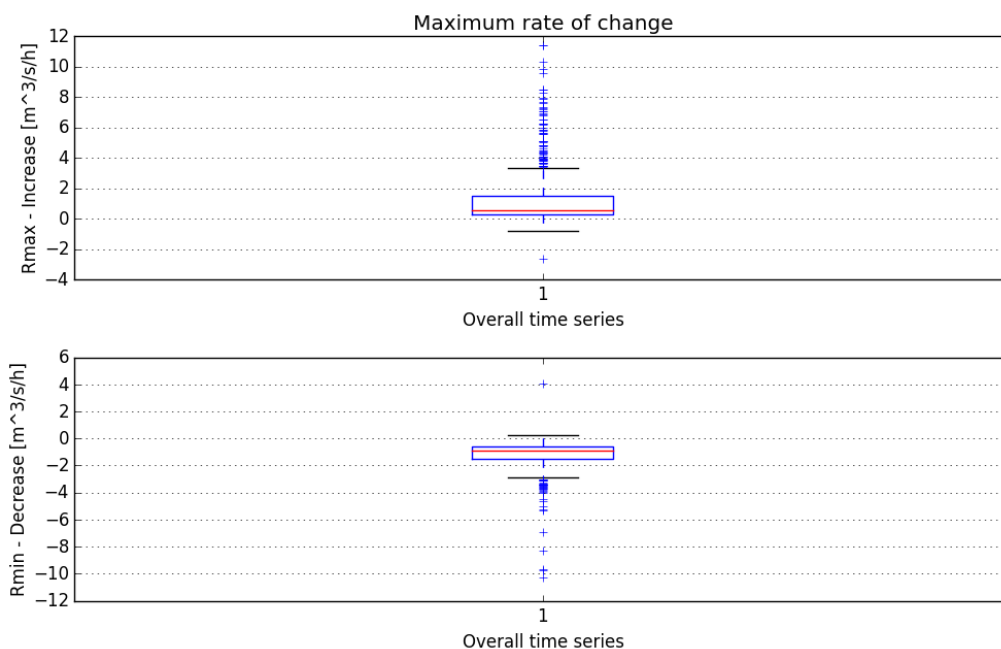


Figura 3.12 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

Las últimas gráficas generadas por COSH que se entregan en este análisis, mostradas en la Figura 3.13, son las de las razones de caudal, nuevamente para los incrementos (razón entre el caudal máximo y el mínimo al subir el caudal) arriba, y para los decrementos (misma razón pero al bajar el caudal), abajo.

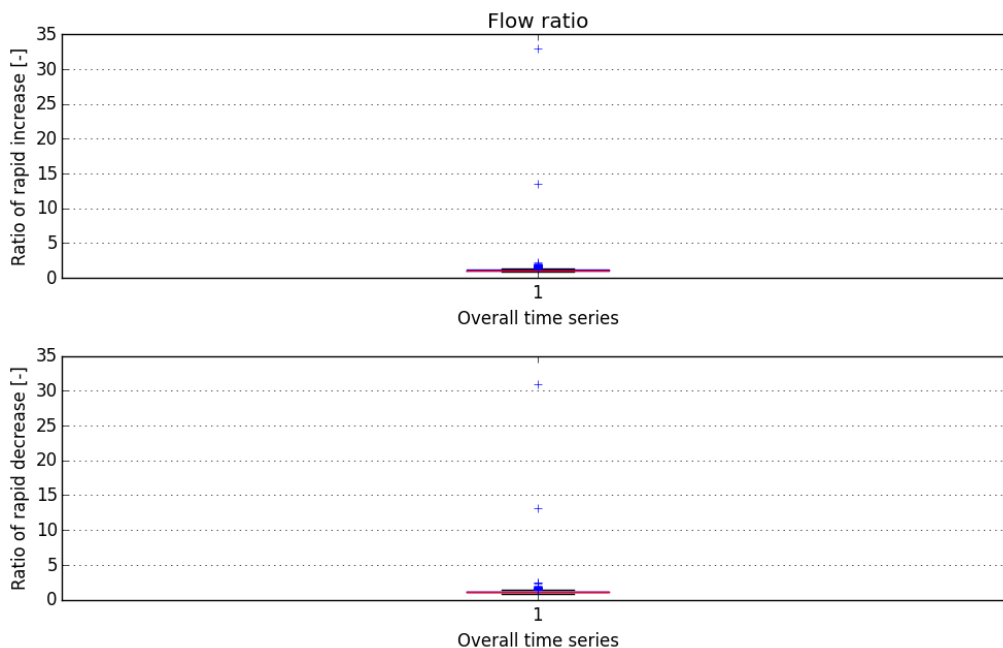


Figura 3.13 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

Además de los problemas recién mencionados para el caso de la Figura 3.12, resulta que estas figuras son extremadamente sensibles a los posibles *outliers*. El presente caso de estudio para la

Central 1 grafica esto muy bien: la gran mayoría de los valores están colapsados en un punto, mientras que la escala de las ordenadas de las figuras tiene rangos muy altos en gran medida debido a sólo uno o dos eventos dentro de la serie de tiempo.

Finalmente, se insiste en que si bien este análisis es adecuado para los fines preliminares del presente estudio, en que interesa estimar la prevalencia del problema del *hydropeaking* a escala nacional, y comparar entre una serie de ubicaciones, es totalmente insuficiente para describir detalladamente el régimen de caudales en una ubicación específica afectada por estas fluctuaciones, y menos aún para comenzar a estudiar sus potenciales impactos. En tal caso, se necesitarían datos hidrológicos más continuos, sobre un período más largo, medidos en o muy cerca de la restitución de la central bajo análisis.

### 3.4 Ocurrencia de *hydropeaking* en Chile

Los resultados del análisis cuantitativo ejemplificado en la Sección 3.3, los que se entregan en el Anexo 1 para cada una de las 40 centrales identificadas en la Metodología, se resumen en la siguiente Tabla 3.2. En ésta, el tipo de central indica si es de pasada (P), embalse (E), o bien de pasada en serie (S), y  $V_{reg}$  (en millones de  $m^3$ ) corresponde al rango de volumen de regulación según lo informado por el CDEC-SIC.

Se hace notar que los intervalos de clase escogidos para las variables continuas son netamente arbitrarios, pero cumplen con el criterio de ser ya sea logarítmicos (entre 0 y 1, 1 y 10, 10 y 100), o bien al menos de tener rangos crecientes.

En esta tabla, se resumen las siguientes características de los pulsos de generación de punta, para cada uno de los 40 tramos de río que fueron seleccionados en el capítulo de metodología porque potencialmente podían estar sujetos a *hydropeaking*:

- *Hydropeaking*: Se refiere a la ocurrencia visual de eventos de generación de punta en el hidrograma de caudales turbinados (o medidos, en los casos de las Centrales 39 y 40). El asterisco (\*) indica aquellos casos en que, a pesar de notarse algunos eventos claros de *peaking*, el hidrograma general aún tiene forma de seguir el régimen natural.
- Frecuencia: Se refiere a la frecuencia promedio de los eventos de punta. Bajo (-) indica que hay típicamente un solo evento al día, intermedio ( $\pm$ ) corresponde a dos eventos diarios, alto (+) a tres, y muy alto (++) a una frecuencia de cuatro o más eventos al día.
- Magnitud: Se refiere a la magnitud típica de los cambios de caudal, en tres categorías: bajo (-), intermedio ( $\pm$ ), y alto (+). La elección de categoría es subjetiva.
- Predicibilidad: Se refiere a qué tan predecibles son las horas típicas de ocurrencia de eventos de *peaking*, en tres categorías: baja (-), intermedia ( $\pm$ ), y alta (+). La elección de categoría es subjetiva.
- Estacionalidad: Se refiere a si el comportamiento del *hydropeaking* cambia a lo largo de las estaciones. Esta elección también es subjetiva, y hubo una central en la que no pudo decidirse si había efecto estacional o no, la que quedó con un signo de interrogación.

Tabla 3.2 Caracterización del *hydropeaking* en los tramos afectados

Central #	Tipo	V <sub>reg</sub> (hm <sup>3</sup> )	Potencia (MW)	Hydropeaking	Frecuencia	Magnitud	Predicibilidad	Estacionalidad	Ancho (m)
1	P	-	100 - 1000	Sí	±	±	+	Sí	50 - 100
2	E	1 - 10	100 - 1000	Sí	+	+	+	Sí	> 200
3	S	1 - 10	100 - 1000	Sí	+	±	±	Sí	> 200
4	P	-	10 - 100	Sí	+	-	-	No	50 - 100
5	P	0.1 - 1	100 - 1000	Sí	±	±	±	Sí	100 - 200
6	P	-	1 - 10	Sí*	±	-	-	Sí	< 10
7	P	-	1 - 10	Sí	+	-	-	Sí	< 10
8	P	-	1 - 10	Sí*	±	±	-	Sí	10 - 20
9	P	-	1 - 10	Sí	±	±	±	Sí	< 10
10	P	-	1 - 10	Sí	+	-	±	?	10 - 20
11	P	-	1 - 10	Sí	+	-	-	No	< 10
12	P	-	1 - 10	Sí	++	-	-	No	50 - 100
13	P	-	10 - 100	Sí	+	-	±	No	100 - 200
14	P	-	1 - 10	Sí*	+	-	-	Sí	10 - 20
15	P	0.1 - 1	100 - 1000	Sí	±	+	±	Sí	100 - 200
16	P	-	10 - 100	Sí	±	±	±	No	> 200
17	P	-	1 - 10	Sí	-	±	±	Sí	10 - 20
18	P	0.1 - 1	10 - 100	Sí	±	+	+	No	20 - 50
19	P	< 0.01	10 - 100	Sí	±	+	+	No	< 10
20	P	-	1 - 10	Sí	±	-	-	Sí	< 10
21	P	-	10 - 100	Sí	++	±	-	Sí	50 - 100
22	S	0.1 - 1	10 - 100	Sí	+	+	±	Sí	20 - 50
23	E	10 - 100	100 - 1000	Sí	+	+	+	Sí	> 200
24	P	100 - 1000	10 - 100	Sí	+	-	±	Sí	20 - 50
25	P	-	1 - 10	Sí	++	-	-	No	50 - 100
26	P	1 - 10	10 - 100	Sí	±	±	+	No	50 - 100
27	P	-	10 - 100	Sí	++	±	-	No	> 200
28	P	-	10 - 100	Sí	++	-	-	No	50 - 100
29	S	-	10 - 100	Sí	+	±	±	Sí	> 200
30	E	100 - 1000	100 - 1000	Sí	+	+	+	Sí	100 - 200
31	P	-	1 - 10	Sí	++	-	±	Sí	10 - 20
32	P	-	1 - 10	Sí	+	-	-	No	50 - 100
33	P	-	1 - 10	Sí	++	±	-	Sí	10 - 20
34	P	-	1 - 10	Sí	+	+	±	Sí	10 - 20
35	P	1 - 10	10 - 100	Sí	+	±	+	Sí	50 - 100
36	P	-	10 - 100	Sí	±	+	+	No	20 - 50
37	S	-	10 - 100	Sí	-	+	+	Sí	> 200
38	S	-	10 - 100	Sí	++	±	-	Sí	> 200
39	E	-	100 - 1000	Sí	-	-	±	Sí	100 - 200
40	E	-	1 - 10	Sí	++	±	-	Sí	< 10

NOTA: - : bajo, ± : intermedio, + : alto, ++ : muy alto

\* : se percibe el régimen hidrológico natural en el hidrograma de caudales turbinados

Sobre la base de los análisis resumidos en la Tabla 3.2, se concluye que todos y cada uno de los 40 tramos de río chilenos seleccionados como posibles candidatos a estar sujetos a fluctuaciones por *hydropeaking* sí sufren de este fenómeno. Según lo anterior, todos los análisis que hacían referencia a "tramos potencialmente afectados por *hydropeaking*" en los hechos corresponden a

tramos en los cuales sí están ocurriendo, en mayor o menor medida, los efectos de las fluctuaciones por generación de punta.

Lo anterior indica que el problema de los potenciales impactos del *hydropeaking* en ríos de Chile es más pervasivo de lo que uno pudiera imaginar, sobre todo si se considera la cantidad de ríos intermedios a grandes afectados, así como la longitud típica de los tramos impactados en estos cauces de mayor tamaño.

Sorprende también que ocurran fluctuaciones tan evidentes en tramos ubicados aguas abajo de centrales hidroeléctricas clasificadas netamente como de pasada, con volúmenes de regulación nulos, en las que teóricamente no debieran estar ocurriendo estos pulsos. Ello pone de relieve los distintos aspectos identificados por EPIDOR (1999, véase Acápite 2.4.2), respecto de la ocurrencia de pulsos de *hydropeaking* bajo centrales de pasada, sugiriendo además una serie de posibles medidas de mitigación para evitar tales fluctuaciones.

Sólo en tres de los 40 casos analizados a la escala nacional, se tiene que el hidrograma turbinado guarda alguna semejanza con un hidrograma en régimen natural. Debe recordarse aquí que, si se dispusiera de hidrogramas medidos, con los caudales totales pasantes por cada uno de los tramos analizados, la ocurrencia de eventos de crecida haría que muchos de estos tramos se viesan con un régimen mucho más natural, al menos en aquellas estaciones del año cuando ocurren eventos de crecida hidrometeorológicos (invierno para ríos pluviales y pluvio-nivales, primavera y/o verano para ríos glaciales, nivales, y nivo-pluviales).

En la gran mayoría de los casos, la magnitud de las fluctuaciones es alta cuando las centrales disponen de algún volumen de regulación, o bien cuando son centrales de pasada sin regulación, pero ubicadas en serie, aguas abajo de otras centrales que sí disponen de capacidad de regulación.

De igual manera, la ocurrencia de pulsos en horarios altamente predecibles en general sólo ocurre aguas abajo de los mismos tipos de centrales, que disponen de regulación ya sea en sus propios embalses o bien por otras centrales con regulación ubicadas hacia aguas arriba. Lo anterior es evidente, puesto que se requiere regulación de los caudales para poder crear pulsos de gran magnitud, y para escoger de manera consistente su *timing* dentro del día, cada día.

Finalmente, en lo que respecta a la frecuencia de las fluctuaciones bruscas por *hydropeaking*, ésta suele ser alta o muy alta, y con mucha variabilidad, aguas abajo de centrales de pasada sin regulación.

### 3.5 Percepción del *hydropeaking* en Chile

En el presente acápite se entregan los resultados de las entrevistas y sondeos rápidos de opinión, aplicados a los habitantes, usuarios y funcionarios públicos de las tres cuencas seleccionadas para análisis, con el objetivo de levantar información acerca de su conocimiento acerca de la generación hidroeléctrica de punta, el fenómeno del *hydropeaking*, sus potenciales impactos sobre otros usos del recurso hídrico y los cuerpos de agua, así como las posibles medidas de mitigación que ellos recomendarían.

## 3.5.1 Resultados de entrevistas

### 3.5.1.1 Entrevistas realizadas

Para determinar la percepción del *hydropeaking* y sus impactos en Chile, por parte de los habitantes y usuarios de diferentes cuencas, se llevaron a cabo 13 entrevistas en tres cuencas de Chile central seleccionadas para este análisis, de entre las 40 identificadas con la metodología planteada en la Sección 3.1.

En Tabla 3.3 se presenta el número de entrevistados según la tipología de actores utilizada en el presente estudio:

Tabla 3.3. Entrevistados según tipología de actores.

Tipología	Número Entrevistados
Gobiernos locales <sup>(1)</sup>	5
Riego/Agricultura	4
Turismo	2
Conservación	1
Agua Potable Rural (APR)	1
<b>Total</b>	<b>13</b>

<sup>(1)</sup> Principalmente funcionarios relacionados con municipios en los ríos seleccionados.

En las Tablas 3.4 a la 3.12 se presenta la sistematización de los resultados obtenidos al analizar las distintas entrevistas realizadas, según la tipología de actores definida para este estudio, diferenciando entre comunidad local (usuarios de diversos sectores) y terceros interesados; esta última categoría incluye principalmente a funcionarios del sector público, trabajando en los gobiernos municipales.

Las tablas presentan los efectos identificados, las eventuales medidas de mitigación propuestas por los entrevistados, así como la posible relación de aquellas con la literatura analizada (es decir, si estos impactos han sido identificados previamente en otros estudios).



Tabla 3.4 Identificación de efectos asociados a generación hidroeléctrica de punta; Gobiernos locales.

Entrevistados	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	Personas atrapadas (turistas y pescadores) en el río, por aumento repentino del caudal, especialmente en verano.	Dotar de equipamiento necesario (botes de rescate) a instituciones y/o agrupaciones relacionadas, en beneficio de las personas que quedan atrapadas en el río.	Las quejas de turistas y pescadores por variaciones diarias de caudal ya han sido documentadas en estudios preliminares sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> en el río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999; Faure, 2000).
Grupo 2	Fluctuaciones de caudal intradiarias (aumento de caudal desde las 17 horas, en este caso puntual), que no son alertadas previamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Implementar un sistema de monitoreo del río, por parte del gobierno local, para predecir las variaciones intradiarias.</li> <li>- Implementar un sistema de alerta, que permita advertir a la comunidad sobre las crecidas debidas a fluctuaciones.</li> <li>- Catalogar las crecidas como mini-emergencias.</li> </ul>	La inexistencia o insuficiencia de información disponible acerca de las variaciones de caudal es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> en el Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999).
	Personas atrapadas (lugareños, turistas y pescadores) en el río, por aumento repentino de caudal.	Instalar una baliza en el río, que alerte a la comunidad cuando el río está creciendo.	Las quejas de turistas y pescadores por variaciones diarias de caudal ya han sido documentadas en estudios preliminares sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> en el río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999; Faure, 2000).
	Percepción negativa del gobierno local y comunidad con respecto al río: inseguridad y peligro.	Contribuir a la tranquilidad y seguridad (física y emocional) de los habitantes, a través de la entrega de información por parte de la empresa hidroeléctrica.	Efecto no documentado en literatura.

Entrevistado	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 3	Conflicto entre canalistas y municipios, por quién se hace cargo de la limpieza de los canales cuando se acumula sedimento.	No se identifica medida de mitigación	No documentado en la literatura.
	Peligro de arrastre de personas (bañistas) por aumento repentino del caudal.	Definir y limitar las áreas de turismo, para evitar que los bañistas sean afectados por los aumentos de caudal.	Las quejas de los turistas por variaciones diarias de caudal ya han sido documentadas en estudios preliminares sobre impactos del <i>hydropeaking</i> en el río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999; Faure, 2000).

Tabla 3.5. Identificación de efectos asociados a generación hidroeléctrica de punta; Riego/Agricultura.

Entrevistados	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	Incertidumbre respecto a las variaciones de caudal.	No indica ninguna medida de mitigación en particular.	La inexistencia o insuficiencia de información acerca de las variaciones de caudal es una queja que ya ha sido documentada (EPIDOR, 1999).
	Fluctuaciones intradiarias de caudal impiden mantener los canales con un nivel de agua constante.	Implementar un sistema de compuertas automatizadas.	Efecto no documentado en literatura.
	Aumento de los costos de administración de los canales por la modificación constante de las compuertas y aumento de celajes.	Implementar un sistema de compuertas automatizadas.	Efecto no documentado en literatura.
	Descontento de los usuarios por variaciones en la entrega de agua y pérdida de equipos mecanizados.	Implementar un sistema de compuertas automatizadas.	Efecto no documentado en literatura.
	Desmoronamientos en las riberas del canal (no revestido).	Mejoras en la estructura del canal.	Efecto no documentado en literatura sobre impactos del <i>hydropeaking</i> , pero es sabido que las fluctuaciones de cota en canales de tierra causan fallas de sus riberas (Darby et al., 2007)

Entrevistados	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 2	Aunque las variaciones de caudal en el río sean breves, se constatan perjuicios para usuarios aguas abajo de CH (regantes), particularmente en años secos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Turbinas más flexibles, preparadas para operar con menos caudal.</li> <li>- Instancia de negociación con la empresa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se ha propuesto el uso de turbinas de distintos tamaños, de modo de poder seguir mejor los cambios de caudal (Meier: 1992a, 1993a, 1995).</li> <li>- Los diagnósticos de cuencas en Francia han sugerido que “las comunidades afectadas (...) negocien con los operadores de las obras hidroeléctricas autorizadas a generar de punta, las condiciones técnicas y económicas de una gestión de los pulsos de <i>hydropeaking</i>”.</li> </ul>
	Consecuencias de la variación de caudal no son instantáneas; se van “desfasando” aguas abajo, afectando finalmente a la disponibilidad de agua para regantes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compensaciones en épocas en que no se ocupan derechos de aprovechamiento de agua.</li> <li>- Solución técnica: construcción de contraembalses.</li> </ul>	La inexistencia o insuficiencia de la información disponible acerca de las variaciones de caudal es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999).
	Se generó conflicto por el hecho que un usuario (CH de pasada) altere el curso natural de las aguas en un río que cuenta con derechos anteriormente asignados, interfiriendo en el uso que otros usuarios hacen del agua.	Políticas de RS de las empresas hidroeléctricas deberían ser coherentes con sus acciones en el territorio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La percepción del fenómeno puede aumentar, a raíz del aumento de la capacidad de generación hidroeléctrica.</li> <li>- Las implicancias de la generación de punta sobre el funcionamiento ecológico y humano de los valles afectados son complejas, porque muchas veces tales implicancias están interrelacionadas (EPIDOR, 1999).</li> </ul>

Entrevistados	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 3	No obstante la regulación que existe sobre el agua para riego, en períodos de escasez de agua, se privilegia la generación energética por sobre la producción agrícola, generándose conflictos por el uso del recurso hídrico.	Normativa que regule los usos sobre el recurso hídrico, para que no se afecte a la agricultura.	Aplicación de Gestión Integrada de Cuencas, que permita lograr coherencia entre las políticas públicas en torno al agua, y las de los demás sectores (EPIDOR, 1999).
	Sensación de inseguridad entre agricultores del sector por la disponibilidad de agua para riego, sobre todo en temporadas de escasez de agua.	Información clara para el agricultor respecto de la disponibilidad de agua para riego.	La inexistencia o insuficiencia de información disponible acerca de las variaciones de caudal es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> en el río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999).
	CH tiene influencia sobre canal, afectando a agricultores de la zona	Programa anual o avisos de parte de generadora para que agricultores definan cómo trabajar, de manera informada.	La inexistencia o insuficiencia de la información disponible acerca de las variaciones de caudal, es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999). Además, la misma fuente ha sugerido que es necesario aclarar las responsabilidades y competencias de los distintos actores.

Tabla 3.6. Identificación de efectos asociados a generación hidroeléctrica de punta; Turismo.

Entrevistados	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	Incertidumbre respecto al nivel de caudal impide el desarrollo de la actividad.	Información veraz y oportuna sobre el estado del caudal.	La inexistencia o insuficiencia de la información acerca de las variaciones de caudal es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999). La amenaza que representan los pulsos de aguas sobre las inversiones en turismo (navegación, restaurantes, camping) es otro impacto asociado a las variaciones de caudal en el Dordogne.
	No dar cumplimiento al servicio ofrecido al turista (grado de dificultad del río para navegarlo).	Información veraz y oportuna sobre el estado del caudal.	La inexistencia o insuficiencia de la información disponible acerca de las variaciones de caudal, es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999). La amenaza que representan los pulsos de aguas, sobre las inversiones en turismo (navegación, restaurantes, camping), es otro impacto asociado a las variaciones de caudal en el Dordogne.
	Alteración del recorrido original y circunstancias imprevisibles durante el recorrido (ejemplo: varamientos de botes).	Variaciones de caudal más regulares y menos violentas.	Efecto no documentado en literatura.

Tabla 3.7. Identificación de efectos asociados a generación hidroeléctrica de punta; Conservación.

Entrevistado	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	Impacto emocional en las personas que crecieron junto al río, ya que han visto como las centrales hidroeléctricas han alterado el caudal natural del río.	No indica ninguna medida de mitigación en particular.	Efecto no documentado en literatura.
	Efectos sobre la fauna íctica: disminución de especies por varazones.	No indica ninguna medida de mitigación en particular.	Los efectos sobre la fauna íctica, asociados a la muerte de peces (huevos, alevines, adultos) por variación de la cota y temperatura, ya han sido documentados en Faure (2000) y Baumann y Klaus (2003).
	Fluctuaciones estacionales de caudal (verano e invierno). Las fluctuaciones en verano afectan las actividades turísticas (kayak).	Plan de Emergencia socializado entre la comunidad, considerando las variaciones de caudal y otros riesgos presentes en la zona (volcánico, derrumbes).	La amenaza que representan los pulsos sobre las inversiones en turismo (navegación, restaurantes, camping), es otro impacto asociado a las variaciones de caudal en el río Dordogne, que coincide con lo manifestado acá.
	Fluctuaciones de caudal intradiarias: Menor caudal en la mañana y aumento de caudal en las tardes (19 horas).	Plan de Emergencia socializado entre la comunidad, considerando las variaciones de caudal y otros riesgos presentes en la zona (volcánico, derrumbes).	Efecto documentado en EPIDOR, 1999; Faure, 2000.
	Percepción negativa de la comunidad con respecto al río: inseguridad y peligro.	No indica ninguna medida de mitigación en particular.	Efecto no documentado en literatura.

Entrevistado	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
	Personas atrapadas (lugareños, turistas y pescadores) en el río, por aumento repentino de caudal.	Plan de Emergencia socializado entre la comunidad, considerando las variaciones de caudal y otros riesgos presentes en la zona (volcánico, derrumbes).	Las quejas de los turistas y pescadores por variaciones diarias de caudal, ya han sido documentadas en estudios preliminares sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999; Faure, 2000).
	Infraestructura de canales de riego y sus centrales hidroeléctricas, impiden el acceso al río, el cual era a través de las bocatomas del canal, pero debido a las variaciones de caudal, se automatizaron los sistemas de compuertas del canal, por tanto, se cerraron las bocatomas que permitían el acceso de las personas al río.	No indica ninguna medida de mitigación en particular.	Efecto no documentado en literatura.



Tabla 3.8. Identificación de efectos asociados a generación hidroeléctrica de punta; Agua Potable Rural.

Entrevistados	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	Personas atrapadas (turistas y pescadores) en el río, por aumento repentino de caudal, especialmente en las tardes.	- Información para los turistas sobre las variaciones de caudal y los horarios en que ocurren. - Delimitar las áreas de inundación.	Las quejas de turistas y pescadores por variaciones diarias de caudal ya han sido documentadas en estudios preliminares sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999).
	Incertidumbre y temor en la comunidad por alteración del régimen natural del río.	Mejorar la entrega de información a la comunidad, y que ésta sea comprensible.	La inexistencia o insuficiencia de la información disponible acerca de las variaciones de caudal es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999).
Grupo 2	Variaciones de voltaje producto de la operación de centrales hidroeléctricas localizadas aguas arriba, afectan equipos en plantas de APR.	No indica ninguna medida de mitigación en particular.	Efecto no documentado en literatura.
Grupo 3	No se identifican efectos sobre el APR asociados a las variaciones de caudal.	No se plantean medidas de mitigación asociados a las variaciones de caudal.	No procede.

Tabla 3.9. Identificación de otros efectos potencialmente asociados a la generación hidroeléctrica de punta; Gobiernos locales.

Entrevistado	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	Inundaciones por apertura de compuertas de las centrales hidroeléctricas	Generar un sistema de comunicación directo, oportuno y preferente entre las centrales y el municipio.	La inexistencia o insuficiencia de información disponible acerca de las variaciones de caudal es una queja que ya ha sido documentada en estudio anterior (EPIDOR, 1999).
	Aislamiento de la comunidad (vial, eléctrico y comunicacional) durante las emergencias (inundación, terremoto).	Dotar con generadores eléctricos, los equipamientos que podrían funcionar como albergue de emergencia, especialmente los centros de adulto mayor y escuelas.	Efecto no documentado en literatura.
	Temor en la comunidad por posible desbordamiento de la represa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mejorar la entrega de información por parte de la central a la comunidad.</li> <li>- Instalar una radio comunitaria que permita mantener informada a la comunidad.</li> </ul>	La inexistencia o insuficiencia de la información disponible acerca de las variaciones de caudal es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999).
Grupo 2	Temor e incertidumbre por posible desbordamiento del río, producto de la apertura de compuertas de las centrales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Definir y delimitar las áreas de seguridad frente a riesgo de inundación fluvial.</li> <li>- Implementar una radio comunicación directa entre las centrales, los gobiernos locales y las comunidades ribereñas (ya que estos son los primeros en advertir cambios en el río).</li> </ul>	La inexistencia o insuficiencia de la información disponible acerca de las variaciones de caudal, es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999).

Tabla 3.10. Identificación de otros efectos potencialmente asociados a la generación hidroeléctrica de punta; Riego/Agricultura

Entrevistado	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	Cuando embalse se llena, la empresa vierte, generando un problema para regantes.	Convenios de negociación entre generadoras y asociaciones de canalistas.	La inexistencia o insuficiencia de la información disponible acerca de las variaciones de caudal, es una queja que ya ha sido documentada en estudio preliminar sobre impactos socio-económicos del <i>hydropeaking</i> del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999).. Para el caso particular del Río 2, la aplicación de un modelo de Gestión Integrada de Cuencas, permitiría una coherencia entre las políticas públicas en torno al agua, y las de los demás sectores

Tabla 3.11. Identificación de otros efectos potencialmente asociados a la generación hidroeléctrica de punta; Turismo.

Entrevistado	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	En temporadas de escasez, se va vaciando el lago durante el verano, afectando el turismo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Que durante el verano se mantenga una cota "razonable" del lago.</li> <li>- Buscar balance entre impacto medioambiental y necesidades de generación energética del país.</li> <li>- Se debe limitar la construcción de CHs</li> </ul>	El impacto que representan las fluctuaciones de cota en los embalses sobre las inversiones en turismo (navegación, restaurantes, camping), es otro efecto asociado a las variaciones de caudal en el río Dordogne, y que coincide con lo manifestado en uno de los ríos seleccionados.
	Impactos positivos en conectividad	<p>Aprovechar la existencia de CHs para promover "turismo hidroeléctrico" en la zona, lo cual significaría beneficio para las comunas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Integrar distintos actores: comunidad, gobierno, sector privado.</li> </ul>	Aplicación de Gestión Integrada de Cuencas, que permita lograr coherencia entre las políticas públicas en torno al agua, y las de los demás sectores (EPIDOR, 1999).
	Impacto al paisaje y a la salud de la población por existencia de líneas de transmisión de alta tensión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relocalización de la población ubicada cerca de líneas de alta tensión.</li> <li>- Estudiar y planificar mejor las rutas de las líneas, para evitar costos "reales"</li> </ul>	Efecto específico no documentado en literatura, no obstante se ha señalado que "las implicancias de la generación de punta sobre el funcionamiento ecológico y humano de los valles afectados son complejas, porque muchas veces tales implicancias están interrelacionadas" (EPIDOR, 1999).

Tabla 3.12. Identificación de otros efectos potencialmente asociados a la generación hidroeléctrica de punta; Agua Potable Rural (APR).

Entrevistado	Efecto identificado	Medida de Mitigación Señalada	Relación con Literatura
Grupo 1	Cambios de usos del suelo adyacentes al río. Los usos que tradicionalmente eran de agricultura y urbanos, ahora son áreas inundables.	Definir las áreas y cotas de inundación, a través de un instrumento de planificación territorial, del cual carece la comuna.	Efecto no documentado en literatura.

### 3.5.1.2 Ideas Fuerza

Para los fines de este trabajo se entenderá por idea-fuerza lo siguiente:

"Una opinión o conjunto de opiniones expresadas durante las entrevistas. Representan intereses particulares de las personas o bien una posición más formal o representativa de un determinado grupo de interés o sector social. Son opiniones que están relacionadas con los efectos o consecuencias de una forma particular de generación hidroeléctrica, denominada generación hidroeléctrica de punta o *hydropeaking*".

Estas ideas u opiniones, levantadas en el proceso de las entrevistas o conversaciones, están basadas en experiencias y opiniones que resultan de cualquier combinación posible entre los siguientes factores:

- El ejercicio profesional
- La observación cotidiana de hechos relevantes
- Los efectos originados por proyectos hidroeléctricos
- Posiciones que pueden considerarse más bien ideológicas

A continuación, en las Tablas 3.13 a la 3.21, se presenta una síntesis de las principales ideas fuerza que fueron mencionadas por los distintos entrevistados, siguiendo las tipologías de actores ya descritas anteriormente. Tales ideas-fuerza se obtuvieron de las transcripciones de las distintas entrevistas llevadas a cabo.

Tabla 3.13. Identificación de ideas fuerza asociadas a generación hidroeléctrica de punta; Gobiernos locales.

Entrevistados	Idea fuerza
Grupo 1	1.- Las inundaciones y variaciones de caudal asociadas a las centrales hidroeléctricas alteraron el orden territorial (áreas agrícolas y urbanas pasaron a ser áreas inundables), así como el conocimiento tradicional de la población respecto del régimen natural de caudal.
	2.- La información proporcionada por los servicios públicos y medios de comunicación respecto a escenarios de inundación o aumentos de caudal debe adecuarse a la realidad de la población y ser realista, evitando alarmar innecesariamente a la población.
Grupo 2	1.- No se ha dado importancia a las variaciones intradiarias a nivel de organismos públicos, pese a que corresponden a mini-emergencias para la comuna, dado sus efectos adversos sobre la población.
	2.- Es necesario generar una red de comunicación directa entre la central, las comunidades ribereñas y el municipio, que permita alertar oportunamente eventos de inundación y aumentos de caudal.
Grupo 3	1.- Los principales reclamos por las variaciones de caudal provienen de los canalistas, que son afectados por el ingreso de sedimentos a los canales.
	2.- Las variaciones de caudal representan un peligro para los bañistas, dado que cuando aumenta el caudal de manera repentina, se corre el riesgo de ser arrastrado por el río.

Tabla 3.14. Identificación de ideas fuerza asociadas a generación hidroeléctrica de punta; Riego / Agricultura.

Entrevistados	Idea fuerza
Grupo 1	1.- Los canales de riego requieren ser modernizados (instalando bocatomas automatizadas), ya que su funcionamiento actual no es compatible con las variaciones de caudal.
Grupo 2	1.- El régimen natural del río siempre ha tenido variaciones, independientemente de la operación de la central hidroeléctrica (CH). La variabilidad observada en el río no es atribuible en un 100% a las centrales. En tal sentido, entrevistado indica que no se produciría el fenómeno de <i>hydropeaking</i> .
Grupo 3	1.- Operación de la central hidroeléctrica en horario de punta altera caudal del río, impidiendo el riego y, por ende, generando conflictos; esta persona plantea que su queja no es por mera oposición a la existencia de la central, sino que a su forma de operar.
	2.- Es difícil demostrar el perjuicio directo, o una relación causa – efecto que tengan las variaciones de caudal por generación de punta sobre alguna actividad económica (agropecuaria) en particular. Tal vez no se pierde la totalidad de la producción pero sí puede bajar el rendimiento, ya que es un efecto permanente.

Tabla 3.15. Identificación de ideas fuerza asociadas a generación hidroeléctrica de punta; Turismo.

Entrevistados	Idea fuerza
Grupo 1	1.- La incertidumbre respecto al nivel del río, producto de las variaciones de caudal debidas a la generación de punta, ha afectado las actividades turísticas que se desarrollan (kayak), ya que no permiten cumplir con el servicio ofrecido a los turistas.

Tabla 3.16. Identificación de ideas fuerza asociadas a generación hidroeléctrica de punta; Conservación.

Entrevistados	Idea fuerza
Grupo 1	1.- La central hidroeléctrica debe informar permanentemente a la población sobre las variaciones de caudal, la apertura de compuertas y cualquier evento que pueda afectar a la población. Lo anterior con el propósito de reducir la incertidumbre y el temor de la población.



Tabla 3.17. Identificación de ideas fuerza en relación con otros efectos potencialmente asociados a generación hidroeléctrica de punta; Gobiernos locales.

Entrevistados	Idea fuerza
Grupo 1	1.- Es necesario establecer y mantener un sistema de comunicación directo y permanente entre las centrales y los gobiernos locales, de manera de advertir oportunamente a la comunidad sobre eventuales incidentes e inundaciones.
	2.- Los municipios deberían tener un encargado de emergencia comunal, con dedicación exclusiva, ya que actualmente deben cumplir múltiples funciones administrativas.
Grupo 2	1.- Las variaciones de voltaje producto de la generación hidroeléctrica de las centrales localizadas aguas arriba afectan equipos en plantas de APR, con consecuencias en el aseguramiento de flujo de agua para la población y el tratamiento de aguas servidas.

Tabla 3.18. Identificación de ideas fuerza en relación con otros efectos potencialmente asociados a generación hidroeléctrica de punta; Riego / Agricultura.

Entrevistados	Idea fuerza
Grupo 1	1.- En períodos de escasez de agua, se privilegia la generación energética por sobre la producción agrícola, generándose conflictos por el uso del recurso hídrico.
	2.- Existe incertidumbre para los agricultores respecto a la disponibilidad de agua para riego, sobre todo en temporadas de escasez de agua, generando una condición de inseguridad para las actividades agrícolas.

Tabla 3.19. Identificación de ideas fuerza en relación con otros efectos potencialmente asociados a generación hidroeléctrica de punta; Turismo.

Entrevistados	Idea fuerza
Grupo 1	1.- Las CHs ya están presentes en el territorio, por lo cual se debería cambiar la perspectiva y aprovechar aquella condición para generar un "turismo de hidroelectricidad" en la zona, promoviendo el desarrollo local, integrando a la comunidad, el gobierno y el sector privado.
	2.- Se destaca la importancia de estudiar los costos y planificar mejor la localización de CHs y rutas de tendido eléctrico.

Tabla 3.20. Identificación de ideas fuerza en relación con otros efectos potencialmente asociados a generación hidroeléctrica de punta; Conservación.

Entrevistados	Idea fuerza
Grupo 1	1.- El Estado debe tener la capacidad de escuchar las necesidades y propuestas de la ciudadanía, a través de sus representantes locales (no gobernadores municipales y políticos).
	2.- El reglamento de evaluación ambiental debe asegurar que los proyectos hidroeléctricos cuenten con un Plan de Emergencia y respeten los espacios con valor natural y cultural. Respecto del proceso de Evaluación Ambiental, es necesario ampliar los plazos de respuesta de la ciudadanía, así como otorgarle independencia y recursos económicos para responder en igualdad con la empresa privada.

Tabla 3.21. Identificación de ideas fuerza en relación con otros efectos potencialmente asociados a generación hidroeléctrica de punta; Agua Potable Rural (APR).

Entrevistado	Idea fuerza
Grupo 1	1.- Los sistemas de APR no utilizan agua del río, sino que de las napas subterráneas, por tanto, las variaciones de caudal no los afectan directamente.

### 3.5.2 Resultados de sondeos rápidos de opinión

Los impactos socio-económicos y el riesgo asociado a la generación hidroeléctrica de punta están directamente relacionados con el tipo de usuario que puede verse afectado por las variaciones de caudal. En distintos estudios llevados a cabo en Francia, y sobre la base del trabajo de terreno efectuado en el marco del presente estudio, se puede identificar al menos a las siguientes categorías: pescadores comerciales, asociaciones de pescadores, guías de pesca profesional, negocios de artículos de pesca, y pescadores aficionados; piscicultores; embarcaciones comerciales menores, barcazas y balsas, embarcaciones turísticas, y deportes náuticos, incluyendo lanchas, canoas y kayaks; campings, balnearios y excursionistas; agricultores y organizaciones de riego; comités de agua potable rural; organizaciones ambientalistas y de conservación; servicios públicos vinculados a pesca deportiva, cultivos acuáticos, infraestructura, agua potable, gestión de riesgos y emergencias, calidad del agua, etc.

En definitiva, se formula una suerte de hipótesis que relaciona a diferentes usuarios de un río con potenciales impactos que deben ser validados y cuantificados. En los levantamientos efectuados por el Establecimiento Público Territorial de la Cuenca Hidrográfica del río Dordogne, en Francia, institución conocida con el acrónimo EPIDOR (Etablissement Public Interdépartemental de la Dordogne, algo así como agencia de cuenca interprovincial del río Dordogne), realizados sobre la base de casos concretos (EPIDOR, 1999 y 2001; Faure, 2000), se identificaron las siguientes tres grandes categorías de efectos socio-económicos:

1. Peligro para la vida de personas: Riesgo e inseguridad por variaciones bruscas de caudal en tramos de ríos.
2. Impredecibilidad de fluctuaciones de cota y de caudales generan pérdidas financieras a otros usuarios del río, por ejemplo pesca deportiva, pesca comercial, o navegación. También, limitan posibilidades futuras de desarrollo para éstas y otras actividades.
3. Las pérdidas materiales y degradación de infraestructura que sirve a otros usuarios del río, por ejemplo botes, artes de pesca, casas rodantes, caminos de acceso, cepas de puentes y barcazas, entre otras.

A continuación, se presentan los resultados levantados en los sondeos de opinión efectuados en tres cuencas (tramos de río) de la zona central de Chile, con presencia de centrales hidroeléctricas de embalse que se usan para generación de punta. La metodología para estos sondeos se presentó en el Acápito 3.1.5.4. Los resultados se presentan aquí de manera separada, para cada una de las cuencas – tramos de río- estudiadas. Luego, en la Sección 3.5.3 se presenta una serie de tablas que sintetizan la totalidad de las opiniones levantadas con las entrevistas y sondeos de opinión, presentándolas por tipología de actores.

#### 3.5.2.1 Sondeo de opinión en Cuenca 1

1. Respecto a la existencia de Centrales Hidroeléctricas (CH), todos los entrevistados señalaron conocer o saber de su existencia, identificando los proyectos hidroeléctricos en su río.
2. Ante la pregunta respecto de cambios en la sección o tramo del río en la cual ellos viven, seis personas respondieron afirmativamente, es decir, que sí habían observado cambios en el río

(Figura 3.14). Los cambios identificados fueron los siguientes: variaciones estacionales de caudal del río (3); aumento de caudal del río (2) y variaciones intradiarias de caudal (2). En estos dos últimos casos, se aprecia un mayor detalle en la percepción de las personas entrevistadas, quienes logran observar cambios diarios en las descargas de agua, en los tramos del lecho del río en cuestión que ellos comúnmente frecuentan.

### ¿Ha observado cambios en el río?

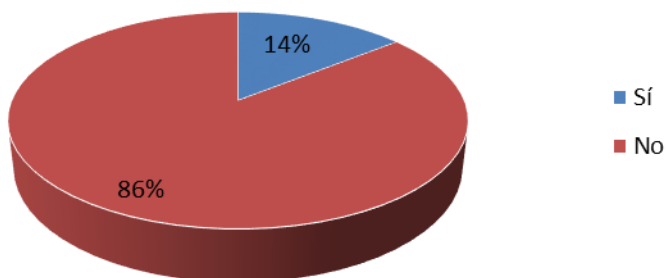


Figura 3.14. Percepción de cambios, Cuenca 1.

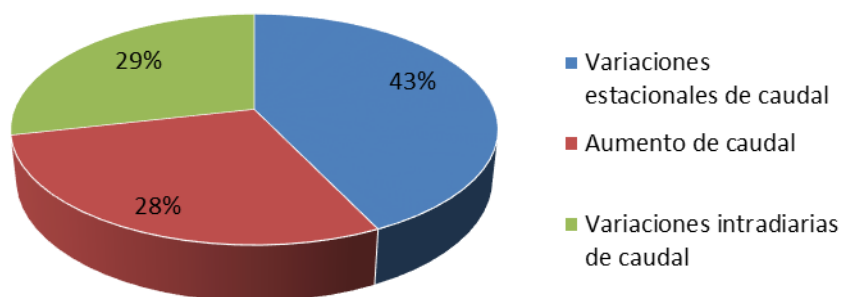


Figura 3.15. Cambios identificados, Cuenca 1.

- Respecto del origen de los cambios, las personas consultadas en el sondeo de opinión señalan como factores causales los siguientes: instalación de la central y generación de energía (4); apertura de compuertas en muro de la CH, en invierno y verano (2); y fisura en muro de la CH (1).

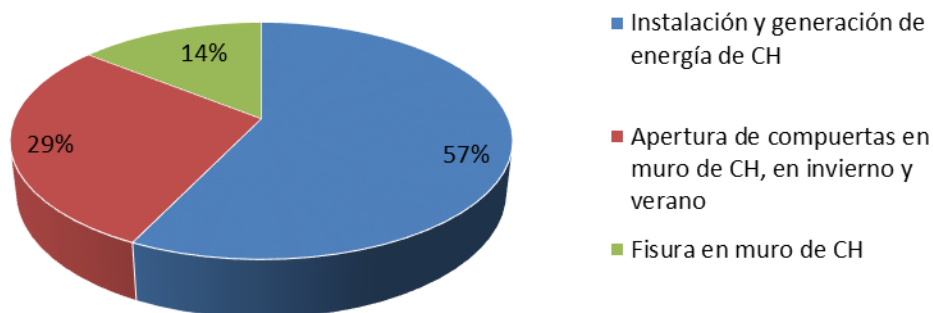


Figura 3.16. Origen de cambios identificados en tramo de río, Cuenca 1.

4. De las siete personas entrevistadas, cinco (5) indicaron que estos cambios les afectaban y dos (2) que no tenían ningún efecto sobre ellos, ni sobre el sector y recursos naturales de la zona.

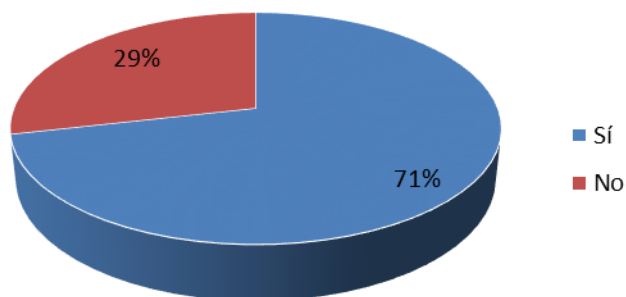


Figura 3.17. Posible afectación por cambios identificados en el río, Cuenca 1.

Los efectos mencionados por las personas, asociados a los cambios en el caudal del río, para la Cuenca 1, fueron los siguientes:

- Cuando aumenta el caudal del río, la balsa destinada para transporte vehicular no puede cruzar entre la ribera norte y sur del río en cuestión, generando problemas de conectividad entre localidades circundantes.
- Las personas sondeadas en la Cuenca 1 señalan que el río es ahora más peligroso, debido a sus cambios de caudal. Por esta razón, afirman, es menor la presencia de pescadores deportivos en sus riberas. Uno de los entrevistados indicó que antes de ser construidas las CHs, a este sector del río llegaban más personas, especialmente pescadores. Expresan que el río ha perdido uno de sus atractivos, siendo ahora un lugar más inseguro para la pesca deportiva. Esto es coincidente con la opinión de otro entrevistado que señaló que, incluso, algunos pescadores han quedado atrapados cuando sube de nivel el río.
- Otros efectos mencionados son: no observar o apreciar, en términos paisajísticos, un nivel estable del río; pérdida de fauna en cauce del río, sin mencionar ninguna especie en particular; y menor presencia de turistas por riesgo e inseguridad en riberas.
- Sólo uno de los entrevistados relacionó las variaciones de caudal en el río con el concepto de generación hidroeléctrica de punta (Figura 3.18). En general, como concepto, no es reconocido por los entrevistados.

### ¿Sabe que es generación hidroeléctrica de punta?

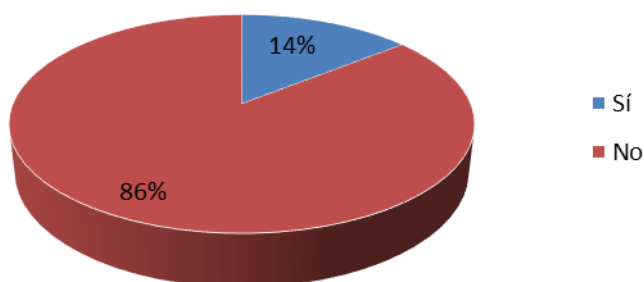


Figura 3.18. Conocimiento concepto generación hidroeléctrica de punta, Cuenca 1

### 3.5.2.2 Sondeo de opinión en Cuenca 2

1. Respecto a las dos primeras preguntas del cuestionario o sondeo de opinión, todos los entrevistados en la zona circundante al tramo de río 2 indicaron conocer la existencia de centrales hidroeléctricas (CHs), como también haber notado cambios en el río, asociados o no a la operación de dichas centrales.
2. En cuanto a los cambios observados, identificaron los siguientes: variaciones estacionales de caudal, provocadas por deshielo, y por descenso de la cota de agua del embalse ubicado aguas arriba; desvíos del cauce natural del río e inundaciones ribereñas (efecto observado hace 10 años atrás); variaciones del caudal del río, especialmente en verano y como consecuencia del uso de agua para riego; variación estacional de caudal, disminuyendo en verano y aumentando en invierno; variaciones diarias del caudal en verano, aumentando éste a partir de las cuatro de la tarde; disminución de caudal los fines de semana, y aumento entre lunes y viernes.

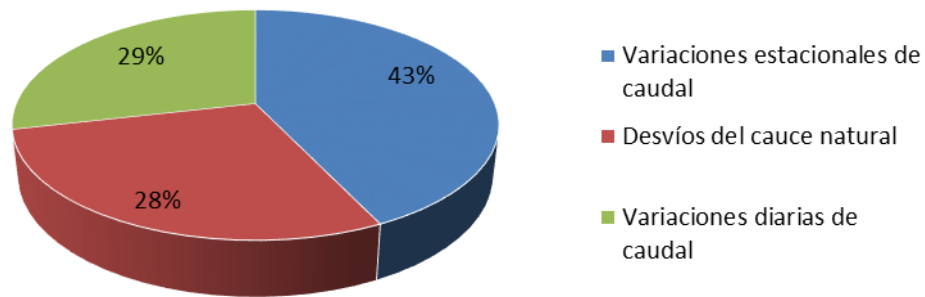


Figura 3.19. Cambios identificados, Cuenca 2.

3. Según las personas sondeadas, los orígenes de los cambios que ellos identifican estarían relacionados con los siguientes aspectos principales: las centrales hidroeléctricas actúan controlando el paso del agua, aguas abajo del sitio o lugar de emplazamiento del muro de la presa y del embalse; las variaciones de caudal y la escasez de agua en algunos períodos del año se debe a que se extrae el recurso para riego; por otra parte, las inundaciones tendrían su origen en la liberación de agua del embalse en época de sequía.

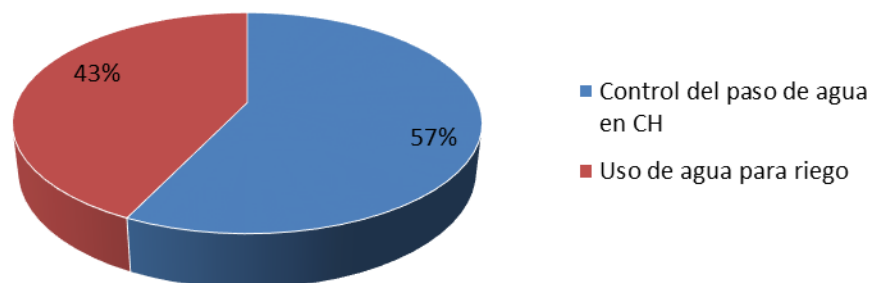


Figura 3.20. Origen de cambios identificados en el río, Cuenca 2.

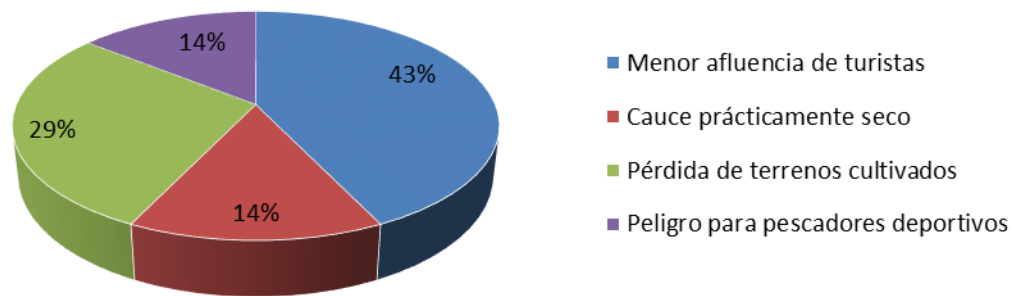


Figura 3.21. Efectos por cambios identificados en el río, Cuenca 2.

4. Los distintos efectos asociados a estos cambios y mencionados por los entrevistados fueron los siguientes:

- Menor afluencia de turistas a lago/embalse localizado en el río, y también a otros tramos del río, en la Cuenca 2.
- Presencia de un cauce prácticamente seco en algunos períodos del año, producto de la extracción de agua para diferentes usos. Lecho seco de piedras y con caudales irregulares.
- Disminución de actividad turística en balneario local.
- Inundación de terrenos cultivados, daños a maquinaria e infraestructura.
- Pérdida de terrenos cultivados, con daño a cosechas y correspondiente pérdida de ingresos de agricultores. Menores ingresos de agricultores locales inciden en su nivel de consumo y afecta comercio local.
- Los pescadores deportivos de orilla quedan atrapados en el cauce del río debido a las variaciones de caudal, con peligro para sus vidas, lo cual genera situaciones de emergencia.
- Se ha observado una disminución de los bañistas en riberas del río debido a las variaciones de caudal, con la consiguiente pérdida de atractivo turístico. Se considera al tramo de río como peligroso para llevar a cabo actividades recreativas.

5. El concepto de generación hidroeléctrica de punta no es conocido por ninguno de las personas sondeadas en la Cuenca 2. Quienes contestaron el cuestionario perciben y dan ejemplos concretos de variaciones de caudal en el río, a distintas escalas de tiempo, asociando esto con el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas y con la extracción de agua para riego.

### 3.5.2.3 Sondeo de opinión en Cuenca 3

1. Respecto a las dos primeras preguntas del cuestionario, todos los entrevistados señalaron conocer de la existencia de las centrales hidroeléctricas en el tramo de río seleccionado, identificando los distintos proyectos hidroeléctricos en su río. En tanto, un 86% indicó haber notado cambios en el río, asociados o no a la operación de dichas centrales.

### ¿Ha observado cambios en el río?

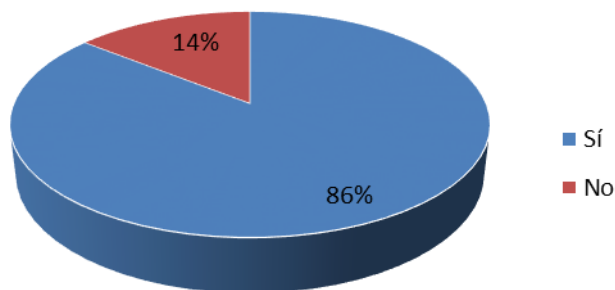


Figura 3.22. Percepción de cambios en el río, Cuenca 3.

2. En la Cuenca 3, ante la pregunta de si han observado cambios en la sección o tramo del río en la cual ellos viven, seis personas respondieron afirmativamente, es decir, que si han observado cambios en el río (Figura 3.22). Los cambios identificados fueron los siguientes: variaciones estacionales de caudal del río (4); disminución de caudal del río (2); y variaciones intradiarias de caudal (2). Al igual que en las Cuencas 1 y 2, se tiene que la mayoría de las personas consultadas a través del sondeo de opinión, si bien han notado cambios en los patrones de caudales del río, no reconocen las fluctuaciones a la escala intradiaria. Sólo dos individuos de los siete encuestados percibieron los cambios debidos al *hydropeaking*.

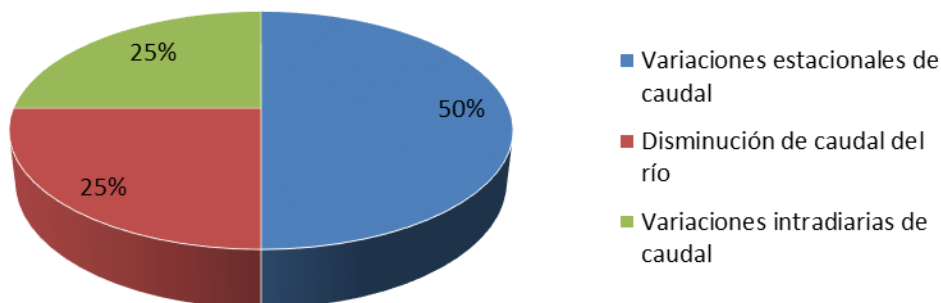


Figura 3.23. Cambios identificados en el río, Cuenca 3.

3. En lo que respecta al origen de los cambios identificados por los entrevistados, según ellos éstos estarían relacionados con dos aspectos principales: la regulación de los caudales por parte de las centrales hidroeléctricas y las extracciones de recursos hídricos para riego.

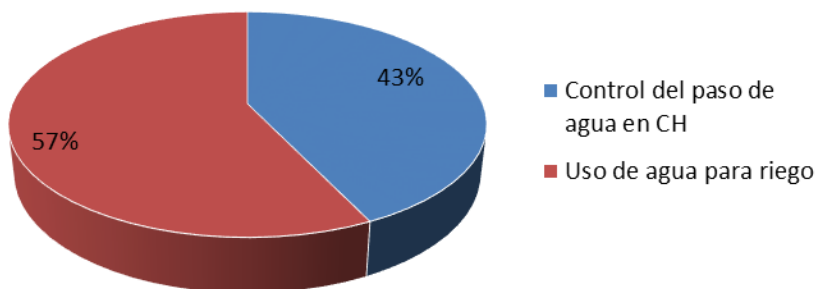


Figura 3.24. Origen de cambios identificados en el río 3, Cuenca 3.



4. De las siete personas entrevistadas, dos (2) indicaron que estos cambios les afectaban, mientras que cinco (5) plantearon que no tenían ningún efecto sobre ellos, o bien sobre el sector y recursos naturales de la zona.

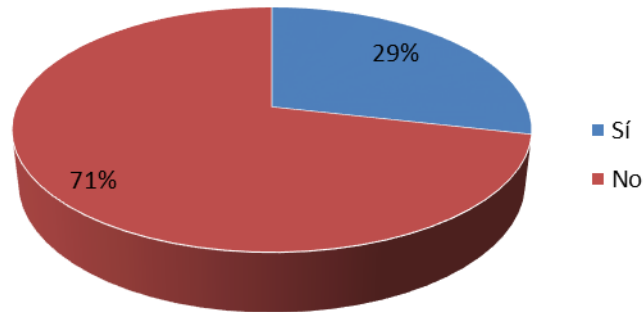


Figura 3.25. Posible afectación por cambios identificados en el río, Cuenca 3.

Los efectos mencionados por las personas, asociados a los cambios en los patrones de caudal del río, fueron los siguientes:

- Disminución de la actividad turística en el balneario local
- La disminución del caudal del río afecta la disponibilidad de riego, con eventual perjuicio hacia los agricultores
- Los habitantes locales, en algunos tramos del río, han quedado atrapados en el cauce debido a las variaciones repentinas de caudal

5. En la Cuenca 3, el concepto de generación hidroeléctrica de punta no es conocido por ninguno de los encuestados. Sólo una de las personas sondeadas percibe y da ejemplos concretos de variaciones de caudal en el río, asociando esto con el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas, los deshielos y las extracciones de agua para riego.

### 3.5.3 Síntesis por tipología de actores relevantes

A continuación se sintetizan los principales temas abordados en las entrevistas, según actores relevantes por usos competitivos.

Tabla 3.22. Síntesis de opiniones según temas principales y sector social.

Tema principal	Usos competitivos				
	Turismo	Riego/Agricultura	Agua potable (APR)	Gobierno local	Conservación
1.- Concepto de generación hidroeléctrica de punta	Se desconoce el concepto, sin embargo, se identifican las variaciones de caudal intradiarias y se indica que éstas afectan el desarrollo de la actividad.	Existe confusión respecto al concepto, dado que se asocia sólo al aumento de la tarifa, producto del mayor consumo de energía. No obstante, se conoce el modo en que operan las centrales en horarios punta. También, se indica que las variaciones de caudal intradiarias afectan el desarrollo de la actividad.	En general, se desconoce el concepto y no se identifican variaciones de caudal ni sus efectos.	Existe un mayor conocimiento del concepto, y manejan antecedentes de la ocurrencia de hechos puntuales de emergencia asociados a las variaciones intradiarias de caudal.	Existe conocimiento del concepto, identificándose la ocurrencia de variaciones intradiarias de caudal.

<p>2.- Efectos asociados a la generación de punta</p>	<p>Los efectos sobre este uso se relacionan con la incertidumbre del nivel del cauce, producto de la desinformación. Esto a su vez, dificulta el desarrollo de las actividades turísticas, como el kayak. Además, existe el riesgo de que los bañistas sean arrastrados cuando se producen aumentos bruscos del caudal.</p>	<p>Los efectos sobre este uso se relacionan con los siguientes aspectos: Incertidumbre y desinformación sobre la ocurrencia de variaciones; manejo y mantenimiento de los canales de riesgo; y disponibilidad de agua para los regantes.</p>	<p>No hay efectos sobre estos usuarios, dado que los sistemas de APR, obtienen el agua desde pozos distantes a los ríos, y si bien se han detectado disminuciones en el nivel del agua, éstas no se asocian con la generación de punta.</p>	<p>Estos usuarios identifican efectos asociados a emergencias puntuales, producto de los pulsos, específicamente personas (bañistas, pescadores, turistas) atrapadas en el cauce y luego arrastradas por el río, producto del aumento de caudal. Además, identifican desinformación, incertidumbre y temor en la población, con respecto a las variaciones de caudal.</p>	<p>Se identifican efectos sobre el medio social y ambiental. El primero, asociado al estado emocional de las personas ante las transformaciones que han experimentado los ríos desde la instalación de CHs, en especial la alteración del régimen natural de caudales, que ha generado una sensación de inseguridad. El segundo tiene que ver con la disminución de especies, por varazón.</p>
---	---	--	---	---	--

Tema principal	Usos competitivos				
	Turismo	Riego/Agricultura	Agua potable (APR)	Gobierno local	Conservación
3.- Medidas de mitigación u otras sugeridas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Delimitar las áreas de inundación</li> <li>-Definir y limitar zonas del río aptas para recreación y turismo</li> <li>-Informar veraz y oportunamente a los turistas respecto de variaciones de caudal y los horarios en que ocurren</li> <li>-Aprovechar la existencia de CHs para promover un "turismo hidroeléctrico", lo cual brindaría una alternativa de desarrollo local</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Implementar sistemas automatizados para la distribución del agua</li> <li>-Mejorar la red de canales</li> <li>-Resguardar de modo efectivo el recurso hídrico destinado a la agricultura</li> <li>-Informar clara y oportunamente a los agricultores respecto de la disponibilidad de agua para riego</li> <li>-Crear instancias de diálogo entre empresas generadoras y asociaciones de canalistas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No se plantean medidas de mitigación asociadas a variaciones de caudal, puesto que no se reconocen efectos de las fluctuaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mejorar la entrega de información comprensible para la comunidad</li> <li>-Implementar una radio comunicación directa entre las centrales, los gobiernos locales y las comunidades ribereñas</li> <li>-Implementar un sistema de monitoreo en el río, para predecir y alertar variaciones intradiarias</li> <li>-Definir y delimitar las áreas de seguridad frente a riesgos de inundación fluvial, a través de un instrumento de planificación territorial</li> <li>-Dotar con generadores eléctricos, los equipamientos que podrían funcionar como albergue de emergencia en caso de crecidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Elaborar un Plan de Emergencia socializado con la comunidad, considerando las variaciones de caudal y otros riesgos</li> <li>-Buscar balance entre impacto medioambiental y necesidades de generación energética del país</li> <li>-Limitar la construcción de centrales hidroeléctricas</li> <li>-Integrar distintos actores para el logro de iniciativas en este ámbito: comunidad, gobierno, sector privado</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"><li>-Suministrar el equipamiento necesario a las instituciones de emergencia, para facilitar el rescate de personas atrapadas en el río.</li><li>-Catalogar las crecidas como mini-emergencias.</li></ul>	
--	--	--	--	---	--

## 3.6 Síntesis de las externalidades del *hydropeaking* en Chile

### 3.6.1 Tramos de ríos afectados y sus características

En el Secciones anteriores del presente capítulo, se desarrolló una metodología completa para listar la gran mayoría de las centrales hidroeléctricas con potencia nominal mayor a 1 MW que generan en punta en Chile, con sus tramos afectados, así como para identificar preliminarmente algunas de sus principales características que se consideraron primordiales para comprender la relevancia de los impactos (por ejemplo, su tamaño, patrón geomorfológico, estado ecológico, etc.). También se llevó a cabo un análisis cuantitativo de los pulsos de generación para todas y cada una de las ubicaciones relevadas en el análisis, cuyas conclusiones resumidas fueron las siguientes:

“Se concluye que todos y cada uno de los 40 tramos de río chilenos seleccionados como posibles candidatos a estar sujetos a fluctuaciones por *hydropeaking* sí sufren de este fenómeno. En estos tramos están ocurriendo, en mayor o menor medida, los efectos de las fluctuaciones por generación de punta.

Lo anterior indica que el problema de los potenciales impactos del *hydropeaking* en ríos de Chile es más perversivo de lo que uno pudiera imaginar, sobre todo si se considera la cantidad de ríos intermedios a grandes afectados, así como la longitud típica de los tramos impactados en estos cauces de mayor tamaño.

Sorprende también que ocurran fluctuaciones tan evidentes en tramos ubicados aguas abajo de centrales hidroeléctricas clasificadas netamente como de pasada, con volúmenes de regulación nulos, en las que teóricamente no debieran estar ocurriendo estos pulsos.

Sólo en tres de los 40 casos analizados, se tiene que el hidrograma turbinado guarda alguna semejanza con un hidrograma en régimen natural.

En la gran mayoría de los casos, la magnitud de las fluctuaciones es alta cuando las centrales disponen de algún volumen de regulación, o bien cuando son centrales de pasada sin regulación, pero ubicadas en serie, aguas abajo de otras centrales que sí disponen de capacidad de regulación.

De igual manera, la ocurrencia de pulsos en horarios altamente predecibles en general sólo ocurre aguas abajo de los mismos tipos de centrales, que disponen de regulación ya sea en sus propios embalses o bien por otras centrales con regulación ubicadas hacia aguas arriba.

Finalmente, en lo que respecta a la frecuencia de las fluctuaciones bruscas por *hydropeaking*, ésta suele ser alta o muy alta, y con mucha variabilidad, aguas abajo de centrales de pasada sin regulación.”

Considerando que todos los tramos analizados tienen ocurrencia de fluctuaciones evidentes, que 37 de la 40 centrales alteran el régimen hidrológico dejándolo manifiestamente distinto del natural, y que 25 tienen fluctuaciones consideradas intermedias o altas (Tabla 3.2), se concluye que el *hydropeaking* sí está potencialmente causando externalidades severas en el caso chileno.

Una segunda conclusión interesante del análisis efectuado en el Capítulo 3, enmarcada en su Tabla 3.1, es que tales potenciales impactos están ocurriendo en tramos de ríos de todo tipo, tamaño, y estado ecológico, sobre todo el rango latitudinal del país con presencia de hidroelectricidad, y para todo tipo de centrales. Las únicas generalidades, o aspectos comunes a la mayor parte de los ríos potencialmente afectados, es que en su gran mayoría están constituidos de lechos gruesos (gravas y/o bolones), y tienen pendientes que, en una perspectiva universal, se considerarían altas a muy altas.

Lo anterior ratifica la aplicabilidad al caso chileno de la información proveniente de Suiza. Tanto la serie de trabajos en ríos alpinos revisados en la síntesis de Baumann y Klaus (2003, véase Acápite 2.3), como el completo proceso de planificación para la mitigación de los impactos del *hydropeaking* (manual de Baumann et al., 2102 – ver Sección 4.3), hacen referencia a ríos de granulometría gruesa y pendientes fuertes, con rangos similares de patrones geomorfológicos. Por otra parte, sin embargo, y como se ha destacado anteriormente, las relaciones detalladas entre las fluctuaciones de caudal por *hydropeaking* y los impactos ecológicos asociados son complejas, inciertas, y muchas veces difíciles o imposibles de transponer.

## 3.6.2 Impactos potenciales

### 3.6.2.1 Físico-ecológicos

A la escala de generalidad del presente estudio, es imposible indicar *a priori* cuáles serían los impactos físico-ecológicos del *hydropeaking* que están ocurriendo en cada río de Chile con fluctuaciones. Ello requeriría pasar a un nivel de análisis muchísimo más detallado (similar o mayor al de la Fase 1 del proceso de planificación suizo – ver Sección 4.3), contando con suficiente información de terreno a la escala local (hidrológica, geomorfológica, sobre transporte de sedimentos, levantamientos faunísticos y florísticos, comportamiento de la temperatura del agua, etc.), además de tener que conocer los requerimientos biológicos de las distintas especies, por ejemplo, de hábitat, reproductivos, rangos de tolerancia, etc., como para poder describir y/o modelar impactos.

En la Sección 4.3, sobre la evaluación de las posibles medidas de mitigación, se explica el enfoque seguido en Suiza (Baumann et al., 2012). En particular, el Acápite 4.3.2 describe tal proceso en detalle, dejando en claro cuáles son los tipos de análisis que son necesarios para poder identificar los impactos y su gravedad, así como para poder modelar los efectos de distintas medidas de mitigación. Como bien indican Baumann y Klaus (2003), Charmasson y Zinke (2011), y Baumann et al. (2012), los impactos físico-ecológicos son específicos a las características de cada central y embalse, de cada tramo de río afectado, y a las comunidades biológicas que habitan en el tramo, por lo que es básicamente imposible transponer esta información.

Sin perjuicio de lo anterior, las referencias citadas en la Introducción al Capítulo 2, a las que podría agregarse el capítulo de Harby y Noack (2013) en un reciente texto de ecohidráulica, y sobre todo las revisiones de los trabajos de Charmasson y Zinke (2011 – Acápite 2.2) y Baumann y Klaus (2003 – Acápite 2.3), cubren ampliamente el rango de potenciales impactos físico-ecológicos debidos al *hydropeaking*. En particular, la Tabla 2.1 traducida directamente de Baumann y Klaus (2003), resume todos los tipos de impactos que pueden ocurrir por causa de las fluctuaciones de punta. Si

bien podría argumentarse que esta tabla data de hace más de una década, plazo durante el cual se ha generado mucha literatura detallada sobre los impactos del *hydropeaking*, en realidad no se han agregado impactos nuevos que fuesen desconocidos en ese instante; la nueva literatura ha permitido conocer mejor los impactos específicos, en algunos de los casos.

### 2.6.2.2 Socio-económicos

En lo que concierne a los impactos sociales y económicos del *hydropeaking*, éstos fueron levantados mediante un amplio trabajo de terreno, sobre los efectos de las fluctuaciones de punta en la cuenca del río Dordogne, Francia (EPIDOR, 1999 y 2001; Faure, 2000). Estos trabajos enumeran, describen, explican y clasifican los impactos levantados, para proponer luego medidas de mitigación, tal como se detalla extensivamente en la Sección 2.4.

En la Sección 3.5, a su vez, se presentan los resultados de entrevistas y sondeos rápidos efectuados en tres cuencas de ríos chilenos grandes, con fluctuaciones intradiarias de caudal debidas a generación de punta, mediante los cuales se levantaron las percepciones de actores representativos en torno a los impactos del *hydropeaking*. En particular, los resultados de las encuestas y sondeos rápidos se presentan en las Secciones 3.5.1 a la 3.5.3, cruzándose en cada caso con los impactos levantados en el caso francés.

De la retroalimentación entre el caso francés y lo observado en el presente trabajo, puede concluirse que, en general y al contrario de lo que sucede con los impactos físico-ecológicos del *hydropeaking*, las categorías de impactos socio-económicos mencionados son a grandes rasgos las mismas en distintos ríos, países y continentes, por lo que éstos debieran ser relativamente fáciles de transponer (extrapolar espacialmente) a otros lugares, en la medida que se conozcan los tipos de actividades que allí se lleven a cabo.

## 4. Medidas de mitigación

### 4.1 Síntesis de medidas de mitigación

A continuación, se efectúa una síntesis de las distintas medidas que pueden adoptarse para ya sea evitar/minimizar, mitigar, y en algunos casos compensar los impactos del *hydropeaking*. Ésta se enfoca al caso chileno, y se basa en la literatura revisada para el presente informe, así como en la experiencia del equipo de investigación respecto del funcionamiento de los sistemas eléctricos.

Esta síntesis debe considerarse a la luz de un panorama cambiante, en que futuras interconexiones (por ejemplo, SIC-SING, o bien a la escala regional) o bien la incorporación masiva de ERNCs fluctuantes, podrían llevar a una mayor necesidad de *hydropeaking*, a la escala del sistema.

#### 4.1.1 Medidas para evitar los impactos

La mejor medida para evitar los impactos a futuro, y también para mitigar algunos impactos actuales, del *hydropeaking* en Chile, sería desarrollar varios proyectos hidráulicos especialmente ubicados y diseñados para generar de punta. Específicamente, estos serían proyectos de: (i)



centrales de embalse, ubicadas entre dos lagos o bien entre un lago y el mar, (ii) centrales de paso con alguna capacidad de regulación, que restituyan directamente a un lago o al mar, en vez de hacerlo a un tramo de río, (iii) centrales de cualquier tipo, ubicadas en cauces menores o intermedios, que restituyan a cauces con caudales sustancialmente mayores, de modo que las fluctuaciones pasen a ser despreciables.

Una segunda alternativa general para suplir las puntas en la demanda eléctrica, sin causar efectos por *hydropeaking*, corresponde a desarrollar centrales de bombeo, ubicadas ya sea entre dos lagos, o entre dos embalses, o entre el mar y un embalse (y todas las demás combinaciones factibles desde el punto de vista ambiental).

Con cualquiera de las dos alternativas antes mencionadas, podría llegar a disponerse de una capacidad suficiente de reserva para el sistema, de modo de eliminar, o al menos disminuir la necesidad de generar de punta con las demás centrales, ubicadas sobre tramos de ríos. Por ende, también corresponden a medidas que permitirían mitigar los impactos que están ocurriendo actualmente, tal como se describió en el Capítulo 3.

#### 4.1.2 Medidas para mitigar los impactos

Proponemos que estas medidas pueden categorizarse en los cuatro tipos siguientes: (i) medidas técnicas a la escala del sistema, (ii) medidas operacionales, (iii) medidas constructivas o estructurales, y (iv) medidas *in-situ*, a aplicar en el tramo afectado.

##### 4.1.2.1 Medidas técnicas a la escala del sistema

Con esto nos referimos a la posibilidad de introducir un esquema de control que sea más distribuido, tal como ocurre en el SING en la actualidad, donde no hay presencia de hidroelectricidad pero de todas formas se logra mantener la seguridad del sistema, así como seguir las fluctuaciones en la demanda.

De esta manera, el respaldo del sistema se repartiría entre todas las unidades, exigiéndole proporcionalmente menos a las centrales hidráulicas, y por ende disminuyendo la necesidad de hacer *hydropeaking*.

##### 4.1.2.2 Medidas operacionales

Éstas corresponden a “actuar sobre el régimen de caudales”, imponiendo restricciones y/u optimizando la operación, de modo de reducir los impactos de las fluctuaciones. Entre éstas se cuentan las siguientes:

- Regular mejor, en el caso de las centrales de paso, de modo de evitar que éstas introduzcan fluctuaciones hacia aguas abajo
- Limitar las magnitudes de las fluctuaciones, por ejemplo, aumentando los caudales mínimos entre pulsos, disminuyendo los caudales máximos, haciendo ambas cosas a la vez, o bien restringiendo la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$

- Actuar sobre las tasas de cambio de caudales o profundidades de escurrimiento (las *ramping rates*), por ejemplo, limitando los valores de  $dQ/dt$  o de  $dh/dt$ , con valores que pueden (y probablemente deben) ser distintos para la subida y la bajada
- Aplicar tales medidas de manera estacional, para mitigar problemas específicos como el *thermopeaking* (en períodos con estratificación térmica de los embalses), o bien los impactos sobre la migración y/o el desove de ciertas especies de peces.

#### 4.1.2.3 Medidas constructivas o estructurales

Agrupan aquellas soluciones en que se construye alguna obra hidráulica, de modo de mitigar los impactos de las fluctuaciones. Podrían considerarse como medidas que “actúan sobre el medio artificial”. La más común corresponde a construir contra-embalses, o piscinas de retención, que permiten almacenar volumen durante la generación de punta, liberándolo luego en las horas de baja, manteniendo así en mayor o menor medida (según se disponga de un volumen de regulación suficiente) el régimen hidrológico natural del cauce.

Es importante mencionar que tales obras introducen a su vez otros tipos de impactos, si no se diseñan incorporando la dimensión ambiental. Por ejemplo, un contra-embalse ubicado sobre el cauce principal puede impedir el paso de organismos y/o de sedimento, problema que no ocurriría si éste se ubicara lateralmente, concepto que corresponde a las “piscinas de compensación.”

Otra medida estructural, que permite evitar o minimizar los efectos del *thermopeaking*, corresponde a construir bocatomas múltiples en los embalses, ubicadas a distintas profundidades, de modo de poder simular el régimen natural de temperatura de las aguas.

#### 4.1.2.4 Medidas in-situ

Éstas engloban una serie de soluciones que pretenden “mejorar” o “restaurar” tramos de río afectados por las fluctuaciones de la generación de punta. Corresponden también a medidas que “actúan sobre el medio”, pero en este caso lo hacen modificando el cauce, en vez de construyendo obras hidráulicas.

Estas medidas son ad-hoc, en el sentido que buscan mitigar algún impacto específico (por ejemplo, el hecho que los valles entre pulsos de *hydropeaking* dejen nidos de peces al descubierto), y son sitio-específicas, en el sentido que no mitigan el impacto en todo el tramo afectado, sino que sólo en aquellos lugares donde se apliquen.

Como se discutió en la Sección 2.2.3, se debe ser cuidadoso a la hora de preconizar este tipo de medidas. Podrían ser provechosas, y sumar un impacto ambiental positivo, en el caso de tramos que han sido degradados por otras actividades. Sin embargo, la mayoría de los tramos de ríos afectados por *hydropeaking* en Chile tienen buenas o excelentes condiciones ambientales; en éstos, los impactos negativos de implementar este tipo de solución podrían superar con creces a los efectos esperados en cuanto a mitigar los efectos de la generación de punta.

### 4.1.3 Otras medidas

Estas soluciones tienen relación con aquellos casos en que se hace imposible reducir los pulsos de *hydropeaking*, y por ende sus efectos. En tales casos, se pueden paliar las externalidades negativas producidas por la ocurrencia de *hydropeaking*.

#### 4.1.3.1 Medidas de mitigación de las externalidades

Por ejemplo, es necesario desarrollar mecanismos que permitan informar y avisar de mejor manera a los ribereños y a los usuarios acerca de la ocurrencia de pulsos de generación de punta, de modo de reducir los riesgos a la seguridad de las personas, y permitir la planificación de actividades recreativas y económicas.

#### 4.1.3.2 Medidas de compensación de las externalidades

Por otra parte, algunos usuarios que se ven afectados negativamente por las fluctuaciones, por ejemplo, los regantes, pueden ser indemnizados o compensados, para resarcirlos. Un ejemplo de ello sería la contratación de turnos de celadores, de manera de poder ajustar continuamente, incluso de noche, las compuertas de las bocatomas.

## 4.2 Legislación internacional sobre *hydropeaking*

### 4.2.1 Metodología de análisis

La búsqueda de información acerca de la existencia de leyes que explícitamente regulen la generación de punta se efectuó de dos maneras complementarias: (i) mediante búsquedas en internet, y (ii) contactando directamente a especialistas en ecohidráulica, con experiencia en estudios sobre impactos del *hydropeaking*, en los distintos países considerados en las bases del estudio (Suiza, Austria, Francia, Noruega, Alemania, Estados Unidos, Canadá, y Nueva Zelanda).

Tras completar esta revisión, se concluyó que el único país que posee leyes que explícitamente abordan los potenciales impactos de la generación de punta es Suiza, caso que se revisa en las Secciones 4.2.2 y 4.3.2. A su vez, tal como se destacó en el Acápito 2.4, la Ley francesa contiene artículos de carácter general, que permiten abordar los impactos del *hydropeaking*, como se discute en la Sección 4.2.3.

Ninguno de los demás países dispone de cuerpos legales que reglamenten directamente el *hydropeaking*. Por ejemplo, en el caso noruego, a pesar que el sistema de entrega de licencias para centrales tiene exigencias muy altas, Harby y Noack (2013) indican que:

“En Noruega, la legislación y el licenciamiento para producción hidroeléctrica sólo raras veces restringen el uso del *hydropeaking*. Sin embargo, muchos ríos regulados se operan con ‘auto-restricciones’ [por parte de los operadores de las centrales], de modo de reducir los impactos negativos del *hydropeaking*. Existe aún una fuerte necesidad de una mejor legislación, y de reglas de operación claras para mitigar los impactos del *hydropeaking*. Probablemente existe también un gran potencial [de mitigación] en combinar la operación de varios ríos sujetos a *hydropeaking*, de modo de evitar

aquellas operaciones más dañinas. También es necesario aumentar el foco en medidas de mitigación físicas, muchas veces en combinación con medidas operacionales. Hasta hace poco, las preocupaciones ambientales en ríos regulados [por centrales hidroeléctricas] se han enfocado en las barreras a la migración y los caudales ambientales y mínimos. Es tiempo de agregar la mitigación del hydropeaking a estas preocupaciones, ya que estamos prontos a sufrir un incremento en la regulación rápida y frecuente de los caudales aguas abajo de centrales hidroeléctricas.”

Por otra parte, en 2012 Noruega inició un proceso de revisión del proceso de otorgamiento de licencias para generar hidroelectricidad, enfatizando los aspectos ambientales. Dos aspectos fundamentales que considera esta revisión son los caudales mínimos o “piso”, así como restricciones a la operación de embalses, los cuales ayudarían a mitigar los impactos del *hydropeaking*.

Es importante mencionar que, a nivel europeo, la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/EC del Parlamento y Consejo Europeo) fija objetivos en términos de resultados a lograr en cuanto al estado ecológico de los cursos de agua, lo que incluye su hidromorfología. Por ello, implícitamente, sus prescripciones podrían también usarse para mitigar los efectos de la generación de punta, en la medida que ésta afecte tal estado; sin embargo, no hay una mención directa al tema del *hydropeaking*.

#### 4.2.2 Legislación suiza

La Ley Federal Suiza 814.20 sobre la Protección de las Aguas (LFSPA, de aquí en adelante), originalmente del 24 de Enero de 1991, fue modificada el 11 de Diciembre de 2009, entrando esta enmienda en vigencia el 1 de Enero de 2011. Su objetivo, descrito en el Artículo 1, es “proteger las aguas contra todo impacto nocivo”, mencionándose en particular la preservación de la salud de seres humanos, animales y plantas, la salvaguarda de los hábitats naturales que contengan fauna y flora nativos, la salvaguarda de las aguas piscícolas, la salvaguarda de las aguas como elemento del paisaje, la utilización de las aguas para actividades recreativas, y el funcionamiento natural del régimen hidrológico.

Esta Ley aplica tanto a las aguas superficiales como subterráneas (Artículo 2), e indica que es deber de todos impedir con diligencia que le ocurran impactos nocivos a las aguas (Artículo 3), y que “aquél que origine alguna medida prescrita por esta Ley debe costear los gastos que ello implique” (Artículo 4).

El Artículo 39<sup>a</sup>, introducido en la enmienda del año 2009, es el que hace referencia específica a la generación de punta, por lo que lo traducimos íntegramente a continuación:

##### “Artículo 39<sup>a</sup> Hydropeaking

1. Los titulares de centrales hidroeléctricas toman medidas constructivas para impedir o eliminar los graves impactos causados por variaciones bruscas y artificiales del caudal de un curso de agua (*hydropeaking*) a la fauna y a la flora nativas y a sus hábitats. A petición del titular de una central hidroeléctrica, la autoridad puede ordenar medidas operacionales en lugar de trabajos constructivos.

2. Las medidas quedan definidas en función de los factores siguientes:
  - a. severidad de los impactos causados en el curso de agua
  - b. potencial ecológico del curso de agua
  - c. proporcionalidad [esto es, alcance] de los costos
  - d. protección contra las crecidas
  - e. objetivos de política energética en cuanto a la promoción de las energías renovables
3. En la cuenca de drenaje del curso de agua en cuestión, las medidas deben coordinarse tras consultar con los titulares de las centrales hidroeléctricas afectadas
4. Los contra-embalses o piscinas de compensación instalados conformes al punto (1) de este Artículo pueden usarse para fines de acumulación y bombeo sin necesidad de modificar la concesión.”

Como se detalla en la Sección 4.3.2, exceptuando casos puntuales, son los cantones (esto es, las divisiones territoriales administrativas suizas, equivalentes a provincias o regiones) los que ejecutan esta Ley, mientras que el Consejo Federal (gobierno central de Suiza) está encargado de hacerla cumplir, así como de regular la coordinación entre las distintas agencias gubernamentales y los cantones (Artículo 46).

El Artículo 83<sup>a</sup> transitorio de la Ley indica que los titulares de centrales hidroeléctricas existentes están obligados a implementar las medidas de mitigación, conforme a las exigencias previstas en el Artículo 39<sup>a</sup>, en un plazo de 20 años desde la vigencia de la Ley, el 1 de Enero de 2011. Según esto, el plazo vence a fines del año 2030.

Es interesante destacar que esta enmienda de la LFSPA surgió por una iniciativa popular, emanada desde las asociaciones de pescadores deportivos de Suiza, conocida como “Aguas Vivas”. Ésta se lanzó en Enero de 2005, con más de 160.000 firmas de ciudadanos, exigiendo la restauración de ríos completos, medidas contra el *hydropeaking*, medidas para lograr balancear el transporte de material (sedimento) del lecho, y el cumplimiento de las leyes existentes en torno a los caudales mínimos o ecológicos. Tras el debate parlamentario, la enmienda incluyó la mayoría de las demandas ciudadanas, aunque con mayor flexibilidad, determinando además que el financiamiento general para las medidas de mitigación provendrá tanto de la red eléctrica nacional (con aproximadamente 0.001 dólares por kWh producido) como del presupuesto federal. Estos aspectos se describen en las presentaciones de Heim (2013) y Bonnard (2013).

La enmienda a la LFSPA tiene un alcance más general que sólo el *hydropeaking*, centrándose además en otros cinco aspectos que aún se consideraban deficitarios en el momento de su génesis: (i) espacio para los sistemas fluviales [previamente rectificadas o encauzados], (ii) restauración de ríos y lagos degradados, (iii) efectos de la generación de punta, e impactos de la hidroelectricidad sobre (iv) el transporte de material del lecho y (v) sobre la migración de peces. Bonnard (2013) indica que el 31 de Diciembre de 2014 era el plazo final para que los cantones planificaran las modificaciones a introducir, respecto de la mitigación del *hydropeaking*, para lograr su implementación al año 2030. Por otra parte, el financiamiento considerado alcanza a los 50 millones de francos suizos por año (aproximadamente la misma cifra en dólares), provenientes de la

operación de Swissgrid, la red eléctrica nacional, entre los años 2015 y 2030, lo que corresponde a un total de 800 millones de dólares sobre 16 años.

Un aspecto fundamental de la enmienda a la LFSPA, es que necesariamente conllevó a modificaciones de la Ordenanza Suiza sobre la Protección de las Aguas (RS 814.201 del 28 de Octubre de 1998, OSPA de aquí en adelante), cuya versión revisada entró en vigencia el 1 de Junio de 2011. En general, según el Artículo 41<sup>o</sup> de la OSPA, se considera que el *hydropeaking* causa un impacto severo a la fauna y a la flora nativas, así como a sus hábitats, cuando el caudal de generación máximo en un curso de agua es a lo menos 1.5 veces mayor que el caudal mínimo, o "piso", entre pulsos de generación, y además el tamaño, la composición y la diversidad de las comunidades vegetales y animales típicas del lugar se ven alteradas.

La Oficina Federal del Ambiente de la Confederación Suiza publicó en 2012 una guía de ayuda para implementar la planificación estratégica en torno a la mitigación de los impactos del *hydropeaking* (Baumann et al., 2012: el "Manual" de aquí en adelante). Lamentablemente, a la fecha esta publicación está sólo disponible en alemán, italiano y francés. Constituye una herramienta fundamental, destinada prioritariamente a los cantones y a los titulares de centrales hidroeléctricas, para aplicar un procedimiento estandarizado para planificar las medidas de mitigación requeridas por la LFSPA y la OSPA, y para evaluar tales planes.

El Manual de Baumann et al. (2012) se describe en detalle más adelante, puesto que constituye la mejor referencia práctica disponible para determinar los tramos afectados por el *hydropeaking*, y las medidas de mitigación que se deben aplicar en cada caso. Cómo se verá, en Suiza, las enmiendas a la LFSPA de 2009 y a la ordenanza correspondiente (OSPA) detallan cronológicamente los requerimientos que se le exigirán a cada actor involucrado (el gobierno federal, los cantones, y los titulares de los proyectos), de modo que al 1 de Enero de 2030 no quede en ese país ningún tramo de río con impactos severos por causa del *hydropeaking*.

### 4.2.3 Legislación francesa

La única Ley francesa que hace referencia explícita al tema del *hydropeaking* ya fue mencionada en la Sección 4.2.3, cuando se discutió los impactos socio-económicos de la generación de punta en la cuenca del río Dordogne (EPIDOR, 1999).

Por otra parte, en su capítulo de revisión del marco legal de la hidroelectricidad en Francia, Fournier et al. (2010) indican que el proyecto de Ley sobre el Agua, votado en primera instancia el 30 de Mayo de 2006, además de poner a Francia en línea con los objetivos de la Directiva Marco del Agua Europea, menciona la obligación, a contar del 1 de Enero de 2014, de cumplir con las reglas relativas a caudales mínimos aguas abajo de centrales hidroeléctricas:

"la regla de un vigésimo [esto es, el caudal mínimo es igual a una vigésima parte del caudal medio anual del río] es directamente aplicable a todos los cursos de agua cuyo caudal medio anual sea superior a 80 m<sup>3</sup>/s [es decir, a los ríos grandes], y a las obras hidroeléctricas que, por su capacidad de modulación [entiéndase regulación], contribuyan a la producción de electricidad en períodos de punta en el consumo. En los demás lugares se aplicará la regla del décimo [caudal mínimo igual a un décimo del caudal medio anual]."

Pareciera con esto que Francia va retrasada con respecto a las tendencias de los demás países europeos, que han comenzado a preocuparse, en algunos casos seriamente, de los impactos del *hydropeaking*. Al parecer, la nueva Ley del Agua impone por primera vez valores a respetar obligatoriamente para los caudales mínimos, pero nada dice de los demás aspectos de un régimen hidrológico de generación de punta.

## 4.3 Evaluación de posibles medidas de mitigación

Esta sección sintetiza la información de la literatura (Capítulo 2) y legislación internacional (Acápito 4.2), y la descripción de la ocurrencia de *hydropeaking* en tramos de río de Chile (Capítulo 3), para proponer un enfoque para escoger medidas de mitigación aplicables a la realidad chilena.

Lo que sigue hace referencia únicamente a mitigar los impactos causados por la generación de punta en las centrales existentes. En efecto, como se destacó tanto en la introducción, es posible planificar un desarrollo futuro del sector hidroeléctrico en que los proyectos encargados de hacer *hydropeaking* tengan características tales que no generen fluctuaciones de caudal en ríos, evitando así estos impactos desde el inicio (y por ende, la necesidad de mitigarlos *a posteriori*).

### 4.3.1 Contexto general de la mitigación del *hydropeaking*

Es importante destacar desde la partida, tal como indican Meier *et al.* (2015), que los impactos ambientales de los proyectos hidroeléctricos son sitio-específicos y proyecto-específicos. Según lo indicado en la síntesis de impactos en la Sección 2.6, y también por Baumann *et al.* (2012; véase el Acápito 4.3.2.2) ello es particularmente cierto para el caso de los impactos físico-ecológicos del *hydropeaking*. Esto implica por ende que no existirá un conjunto de reglas simples para predecir los impactos *a priori*, por lo cual tampoco puede pretenderse que habrán “soluciones a la medida” para mitigarlos.

Como fue mencionado, la generación de punta puede causar una multitud de impactos potenciales, los cuales a su vez dependen de múltiples variables, tanto del tramo de río en que ocurren tales impactos (hidrología, morfología), del proyecto que los causa (tamaño de embalse, tipo de central, diseño y operación), como de las comunidades (humanas, animales y vegetales) que ocupan el cauce, su corredor fluvial, y las zonas aledañas.

En algún caso específico de estudio, el contexto, la información disponible, la buena voluntad del titular, y (tal vez) sobre todo el *expertise* del consultor serían probablemente fundamentales para encontrar soluciones adecuadas, cercanas a las óptimas. Sin embargo, sería absolutamente iluso siquiera plantear que este tipo de enfoque *ad-hoc* pudiese resultar a la escala de una cuenca con varios proyectos, y para qué decir a la escala de un sistema nacional.

Lo que se requiere para lograr esto de una manera planificada, justa (para los distintos proyectos y titulares involucrados) y consecuente, es un proceso de planificación completo, que primero evalúe los tramos de río potencialmente impactados, determinando la severidad de los impactos actuales y adscribiendo tales impactos a los distintos proyectos ubicados aguas arriba del tramo, para luego proponer las mejores medidas de mitigación, en un marco de optimalidad (esto es, considerando tanto sus beneficios socio-ambientales como sus costos).

Por lo demás, tal esquema de mitigación necesitaría apoyarse en información confiable para comprender la estructura y el funcionamiento de los tramos, de modo de poder modelarlos, ya que en la mayoría de los casos, ésta es realmente la única forma de adscribir los impactos observados a alguna central en particular (o bien a otras actividades, no relacionadas con la hidroelectricidad), y también de comprender cómo diversas medidas logran - o no - reducir la severidad y el alcance de tales impactos.

La tarea de desarrollar un esquema de mitigación global con estas características, que podría parecer intimidante a primera vista, ya fue llevada a cabo en Suiza. Como se indicó en la Sección 4.2.2, la enmienda del año 2009 a la Ley Federal Suiza 814.20 sobre la Protección de las Aguas (LFSPA), puso en marcha un proceso insoslayable, que obligó a los gobiernos nacional y cantonales, así como a los titulares de proyectos existentes, a trabajar conjuntamente para lograr mejorar los siguientes seis aspectos relativos a la salud de los ríos suizos: más espacio para los sistemas fluviales [previamente rectificadas o encauzadas con diques], restauración de ríos y lagos degradados, mitigar efectos de la generación de punta, reducir impactos de la hidroelectricidad sobre el transporte de material del lecho, y minimizar efectos sobre la migración de peces.

La enmienda a la LFSPA incorporó plazos perentorios para lograr las mejoras, plasmados en la Ordenanza Suiza sobre la Protección de las Aguas (OSPA), cuya versión revisada entró en vigencia en Junio de 2011. A su vez, para cumplir operacionalmente con estos plazos, la Oficina Federal del Ambiente de Suiza (OFEV) publicó en 2012 un Manual de 127 páginas, para implementar la planificación estratégica de la mitigación de los impactos del *hydropeaking*: "Mitigación del Hydropeaking: Planificación Estratégica – Módulo de Ayuda para la Ejecución de la Renaturalización de las Aguas" (Baumann et al., 2012), revisado en amplio detalle en la Sección 4.3.2. Éste constituye una herramienta dirigida a los cantones y a los titulares de centrales hidroeléctricas para que, trabajando mancomunadamente, se aplique un procedimiento lo más estandarizado posible, para planificar las medidas de mitigación requeridas por la LFSPA y la OSPA, y para evaluar tales planes.

Como se mostrará en el Acápito 4.3.2, y dado el desarrollo actual a nivel mundial de la temática sobre mitigación de los impactos del *hydropeaking*, el enfoque suizo plasmado en este Manual corresponde sin lugar a dudas a la mejor aproximación existente para este complejo problema. Esto no implica que deba ser la metodología a usar en Chile, pero al menos muestra claramente la forma de proceder para desarrollar una metodología aplicable. Además, como se mencionó en la revisión de impactos, los ríos alpinos de Suiza, en cuanto a sus rangos de tamaños, características morfológicas, materiales del lecho y diversidad de otros tipos de impactos son bastante parecidos, en general, al caso chileno.

### 4.3.2 El manual suizo de mitigación del *hydropeaking*

Antes de presentar en detalle el enfoque suizo de mitigación del *hydropeaking*, conviene indicar que todo lo tratado en la LFSPA, en la OSPA, así como en los procedimientos del Manual, sólo atañe exclusivamente a impactos de carácter físico-ecológico, no habiendo ninguna consideración respecto de los efectos de corte socio-económico. Esto puede justificarse de dos maneras: (i) el modelo de democracia imperante en Suiza, con plebiscitos a nivel local, cantonal, y federal para dirimir la mayoría de las diferencias, imposibilita o al menos hace difícil que ocurran impactos socio-económicos severos; y más relevante al caso chileno por su generalidad, (ii) al mitigar



adecuadamente los impactos físico-ecológicos severos, que corresponde al objetivo global del enfoque suizo, se tiene automáticamente que ya no pueden ocurrir impactos socio-económicos apreciables.

En efecto, los impactos sobre las comunidades animales (y vegetales también, pero importan sobre todo las primeras), se inician en un umbral de cambios que es probablemente bastante menor que aquél para el cual empiezan a sentirse efectos socio-económicos. Por ejemplo, en el caso suizo, la OSPA define que los impactos a la fauna y a la flora nativas, así como a sus hábitats, son severos cuando el caudal de generación máximo en un curso de agua con fluctuaciones artificiales es a lo menos 1.5 veces mayor que el caudal mínimo, o “piso”, entre pulsos de generación. Este criterio es sumamente conservador, a la luz de las típicas razones  $Q_{máx}/Q_{mín}$  observadas en ríos chilenos sometidos a *hydropeaking* (véase Anexo 1).

En su resumen o abstract, se indica que el Manual “provee una metodología efectiva para responder a las exigencias legales en cuanto a la protección de las aguas de los efectos del *hydropeaking*. Describe las diversas etapas de la planificación, enfocándose sobre todo en la planificación estratégica que deben llevar a cabo los cantones hasta fines del 2014. No sólo detalla los métodos de análisis que permiten evaluar los distintos tramos de río que sufren impactos debido al *hydropeaking*, sino que también explica cómo decidir si una central hidroeléctrica que genera de punta debe obligatoriamente acogerse a medidas de mitigación, y cómo dimensionar la envergadura de las medidas que se requieran.”

En el prefacio, se menciona algo acerca del espíritu así como la génesis y los alcances de la Ley, cuando se indica que:

“La legislación federal sobre la protección de las aguas apunta antes que nada a garantizar una protección integral de las aguas y sus múltiples funciones, así como su uso sustentable por la humanidad. La reciente modificación de la Ley sobre la Protección de las Aguas persigue igual objetivo: encontrar soluciones para proteger las aguas, respetando a la vez los imperativos de protección y las necesidades de uso. El Parlamento adoptó las modificaciones propuestas en Diciembre del 2009, a la forma de un contra-proyecto a la iniciativa [de Ley] popular de “Aguas Vivas”, tras lo cual esta iniciativa fue retirada.

Consagradas a la renaturalización, las revisiones de la Ley y la Ordenanza sobre la Protección de las Aguas, entradas en vigencia el 1 de Enero y el 1 de Junio de 2011, respectivamente, representan un gran paso adelante hacia la protección de las aguas en Suiza. En efecto, tienen por objetivo revitalizar los ecosistemas de cursos de agua y de lagos, a fin de dejarlos más cercanos a su estado natural, contribuyendo así a la preservación y la promoción de la biodiversidad. En breve, se trata de volver a darles mayor espacio a las aguas que fueron severamente rectificadas, y de atenuar los efectos nefastos de la explotación de la energía hidráulica.

El Manual de Ayuda a la Renaturalización de las Aguas debe asistir a los cantones en la aplicación de las nuevas disposiciones legales, y garantizar una aplicación del derecho federal que sea uniformizada y coordinada a la escala de toda la Suiza. Puesto que la aplicación de la Ley del Ambiente recae sobre los cantones, se incorporaron

representantes cantonales en aquellos grupos de trabajo que siguieron de cerca el desarrollo de este Manual de Ayuda.

El presente módulo del Manual está consagrado a la planificación estratégica de la mitigación del *hydropeaking*. Explica cómo levantar y evaluar los impactos existentes provocados por las variaciones bruscas del caudal en cursos de agua, y cómo determinar la obligación de mitigarlos, así como el tipo de medidas que deben tomarse, al nivel de las centrales hidroeléctricas que los causan.”

El resumen extendido agrega que las indicaciones prácticas contenidas en el Manual le permiten a los cantones y a los titulares de centrales hidroeléctricas planificar las medidas de mitigación necesarias, y a la Oficina Federal del Ambiente de evaluar tales planes. Indica que el desarrollo del Manual muchas veces sigue la línea cronológica de las diversas etapas en el proceso de planificación, mencionando regularmente los plazos contemplados para la realización de los diversos trabajos necesarios, y articulándose en torno a la Fase 1 del proceso de planificación, que los cantones debían lograr antes de fines del 2014.

En ese plazo, cada cantón debía completar un censo de todas las instalaciones ubicadas sobre su territorio que generaran pulsos por generación de punta, identificar cuáles de éstas requerirían medidas de mitigación, y determinar la amplitud aproximada de tales medidas. Este módulo del Manual [aquél relativo al *hydropeaking*] entrega instrucciones tan completas y precisas como sea posible para llevar a cabo esta primera etapa del proceso. En sus anexos para especialistas, se encuentran explicaciones detalladas respecto de los métodos de análisis y las evaluaciones a aplicar.

Tales métodos no sólo permiten evaluar los impactos de las fluctuaciones en los cursos de agua, sino que también entregan un procedimiento uniforme para evaluar las centrales hidroeléctricas de Suiza que provocan *hydropeaking*. Se sigue un enfoque pragmático, que considera los plazos muy breves fijados por Ley para establecer la planificación estratégica, así como los costos elevados que deben esperarse, entregando siempre formas de sortear las situaciones más complejas. Por estos motivos, el Manual distingue claramente los distintos niveles de intervención de las etapas de planificación, y toma en consideración, tanto como sea posible, los datos y fundamentos metodológicos existentes para abordar el tema de los impactos del *hydropeaking*. El Manual también describe brevemente la Fase 2 del proceso de aplicación de la legislación, es decir, el estudio e implementación del proyecto de mitigación por parte de los titulares, así como el control o monitoreo de la efectividad de las medidas aplicadas.

La Introducción al Manual agrega que “esta ayuda a la ejecución comprende diversos módulos consagrados a la planificación estratégica, la implementación de las medidas, su financiamiento, los modelos de datos, las exigencias aplicables a los datos según la ley sobre la geoinformación, así como un módulo que vas más allá de la temática de la renaturalización, dedicado a la coordinación de los distintos proyectos relativos a la gestión del agua.” Así, para el caso del *hydropeaking*, son cuatro los distintos módulos disponibles: planificación estratégica, implementación de las medidas, financiamiento, y modelos de datos e información, además del módulo transversal sobre coordinación. Describimos a continuación en detalle el primero de éstos, relativo a planificación estratégica, ya que es el que más cubre los aspectos solicitados en las bases.

El análisis será cronológico, siguiendo el avance en que debe ocurrir el proceso de planificación estipulado en la LFSPA y la OSPA. Así, se analizarán los Capítulos 1 (“Punto de partida”), 2 (“Determinación de impactos severos”), 3 (“Informe intermedio”), 4 (“Planificación hasta el 2014”), y 5 (“Resumen de la planificación que recaerá en los titulares (fase 2) y control de la efectividad”) del Manual. En muchos casos, se efectuará una traducción casi literal de pasajes que pueden ser largos, pero con una subsiguiente discusión siempre enfocada al tema de interés, que corresponde a la situación chilena.

Por otra parte, además de seguir el mismo orden del Manual, se reseñan brevemente todos sus contenidos.

#### 4.3.2.1 Punto de partida

##### I. Objetivo, destinatarios y estructura del Manual

El Manual tiene por objetivo presentar un método práctico que permita abordar las exigencias de la LFSPA y de la OSPA respecto del tema del *hydropeaking*. En particular, los objetivos específicos son:

- Entregar elementos prácticos con el propósito de ayudar a los cantones y a los titulares de centrales hidroeléctricas con las planificaciones exigidas respecto del *hydropeaking*, y permitirle a la Oficina Federal del Ambiente evaluar tales planificaciones. Así, se ha buscado desarrollar un método que sea transparente y aplicable a todas las instancias.
- Presentar un método de análisis y evaluación que permita levantar, con la mayor precisión posible e independientemente de las demás intervenciones antrópicas, cuáles son los impactos causados en ríos por el *hydropeaking*. Un enfoque de este tipo permite también tratar de la manera más uniforme posible a las centrales hidroeléctricas que originan fluctuaciones por generación de punta en Suiza. Se contribuye así a la igualdad ante derecho, y también a implementar de manera óptima los medios disponibles para mitigar los efectos negativos del *hydropeaking*.
- Contribuir a la adopción de un enfoque pragmático que considere por un lado lo corto de los plazos legales fijados para la planificación, y por otro los costos muchas veces elevados que demandarán las medidas a ejecutar. A pesar de estas dos restricciones, para que sea posible lograr evaluaciones serias y proponer medidas efectivas, esta metodología plantea un nivel de análisis escalonado para las distintas fases de la planificación, así como el uso, en la medida de lo posible, de datos y métodos ya existentes.
- Describir los métodos de análisis y de evaluación con precisión y claridad suficientes, de modo que los especialistas puedan aplicarlos sin necesidad de explicaciones complementarias. De este modo, el Manual de Ayuda debe permitirle a los cantones iniciar de inmediato los trabajos de la primera fase de planificación.

La Figura 2.1 ofrece una perspectiva de las diversas fases y etapas de planificación abordadas en el Manual de Ayuda. Éste posee una estructura cronológica, ya que aborda sucesivamente las diversas etapas de la planificación, en el orden correspondiente. Sólo el último capítulo del Manual (Sección 4.3.2.4 del presente informe) no respeta este orden cronológico.

A continuación, se explican las nuevas disposiciones legales suizas relativas a las fluctuaciones de caudal por generación de punta, especificando su campo de aplicación. Luego, se explica el origen del *hydropeaking*, así como algunos enfoques actuales para evaluar su ocurrencia. Finalmente, se entrega un resumen del desarrollo completo del proceso de planificación e implementación, incluyendo aquellas fases posteriores que no son tratadas en el módulo sobre planificación estratégica, indicando el rol de las distintas partes concernidas (agencias del Estado y titulares).

El módulo resumido aquí prioriza la primera Fase de la planificación cantonal. En ésta, el Cantón debe hacer un censo de todas las centrales ubicadas sobre su territorio que causen fluctuaciones de caudal por generación de punta, identificar aquellas que requerirán medidas de mitigación, determinar el tipo de medidas a implementar, y fijar los plazos para su ejecución. En la medida de lo posible, los cantones deben también estimar aproximadamente la amplitud de tales medidas. Se destaca que esta primera fase planificatoria en el proceso suizo corresponde cercanamente con lo solicitado en el presente estudio, respecto de “hacer propuestas de medidas de mitigación”.

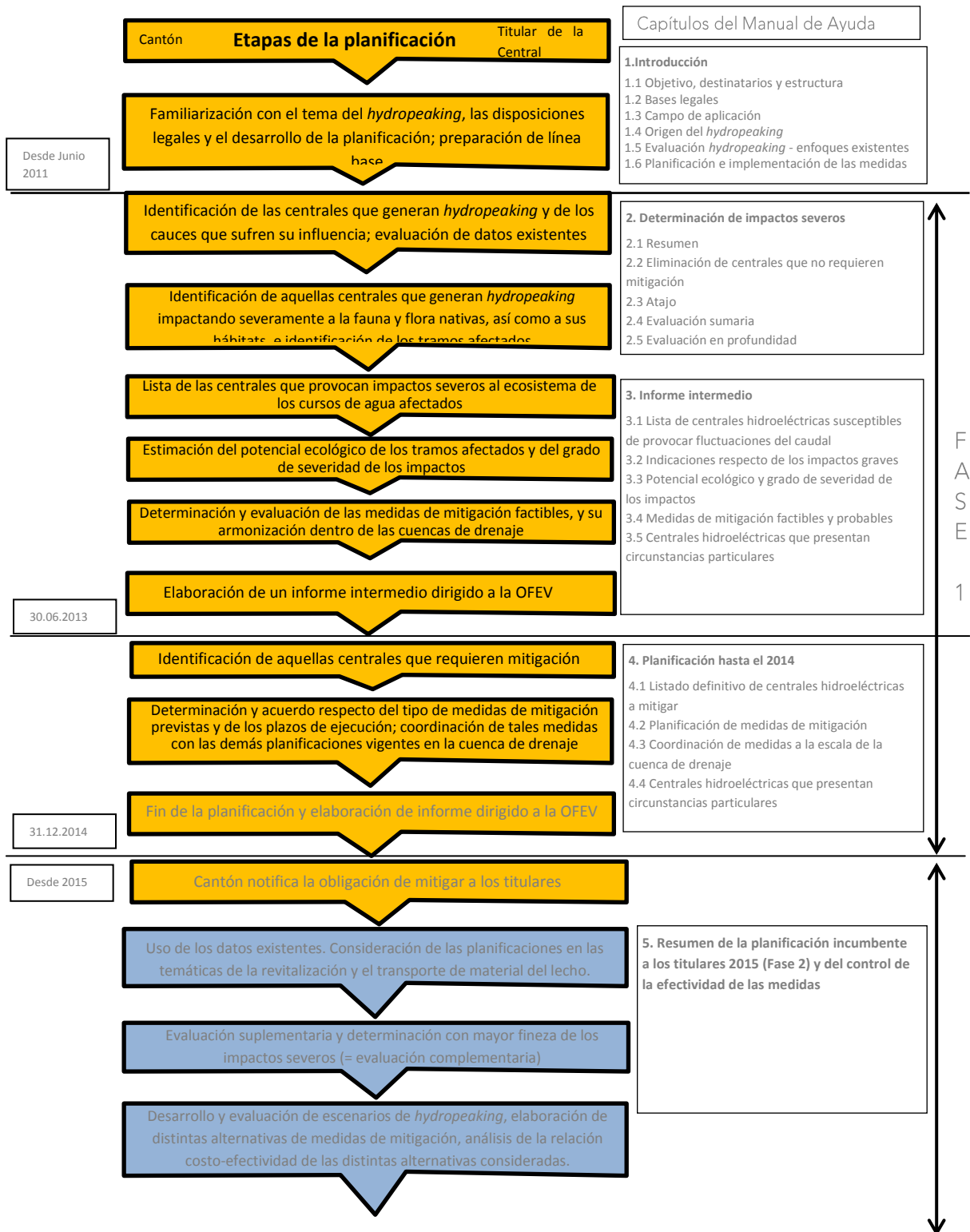


Figura 4.1 Sucesión de las diversas fases y etapas de la planificación e implementación de las medidas de mitigación al *hydropeaking*, indicando los capítulos correspondientes en el Manual de Ayuda (traducido de Baumann et al., 2012).

En sus Capítulos del 2 al 4 (Secciones 4.3.2.1 al 4.3.2.3 del presente informe), el Manual entrega una hoja de ruta lo más exhaustiva y detallada posible para implementar correctamente esta primera fase. En el Capítulo 5 del Manual se entrega un resumen de la Fase 2 del proceso de planificación, que le incumbe a los titulares de las centrales hidroeléctricas, así como del control de efectividad de las medidas aplicadas.

Para respaldar el uso de los distintos métodos, dar claridad, así como para permitir la aplicación directa del enfoque por parte de especialistas, en el Manual se entregan una serie de anexos que contienen algunas de las bases teóricas de la metodología de análisis y evaluación, así como una descripción detallada de todos los indicadores utilizados. Después del anexo, el Manual entrega una bibliografía detallada (con foco en ríos alpinos de Europa central, la cual por ende es altamente aplicable al caso chileno, en general), así como un glosario.

El Manual está dirigido antes que nada a las autoridades cantonales responsables de la planificación, pero también a los titulares de centrales que generan pulsos por *hydropeaking*, y que el cantón haya clasificado en la categoría de proyectos/tramos que requieren de mitigación. En el esquema suizo para mitigar los impactos del *hydropeaking*, los titulares de las centrales deben ser invitados a participar desde la primera fase de la planificación sumaria de las medidas de mitigación.

## II. Bases legales

La LFSPA obliga a los titulares de centrales hidroeléctricas a tomar medidas constructivas (o estructurales, en el sentido utilizado en los capítulos anteriores) para impedir o eliminar aquellos impactos severos causados por las fluctuaciones bruscas y artificiales del caudal de un curso de agua (el *hydropeaking*), sobre la fauna y la flora nativas, y sus hábitats. A petición del titular, es posible tomar medidas operacionales para sustituir o complementar las medidas constructivas. Según el Art. 41° de la OSPA, el *hydropeaking* causa impactos severos a la fauna y la flora nativas, y sus hábitats, cuando el caudal máximo o de *peaking* en un cauce es a lo menos 1.5 veces mayor que su caudal mínimo (o de valle, o caudal piso), y la talla, la composición y la diversidad de las comunidades vegetales y animales típicas de la estación (entiéndase, lugar de muestreo) se ven alteradas. Los anexos del Manual entregan la formulación exacta de las disposiciones legales, tal como aparecen en la LFSPA y la OSPA.

Las medidas para atenuar los efectos del *hydropeaking* deben coordinarse a la escala de la cuenca, considerando los siguientes aspectos: grado de severidad de los impactos, potencial ecológico del curso de agua, amplitud de los costos, intereses en cuanto a protección contra las crecidas, y objetivos de la política energética en cuanto a la promoción de las energías renovables. En el caso de un cauce cercano al estado natural, la determinación del potencial ecológico se basa sobre la importancia ecológica de las aguas en su estado actual; en el caso de cursos de agua degradados, que han sufrido impactos anteriores, se basa sobre la importancia ecológica que las aguas podrían llegar a tener tras haber remediado los impactos antrópicos nocivos, en la medida que esto implique costos razonables.

El art. 83ª de la LFSPA fija un plazo de 20 años desde su entrada en vigencia, que vence el 31 de Diciembre de 2030, para que las centrales existentes mitiguen los impactos severos del *hydropeaking*, conforme a las exigencias del Art. 39°. Los cantones deben planificar las medidas de mitigación requeridas, conforme al Art. 83ª de la LFSPA, y fijar los plazos para su ejecución. Deben

entregar su planificación al gobierno federal antes de fines del 2014, y luego presentar cada cuatro años un informe con las medidas implementadas.

La implementación de las medidas de mitigación se especifica en el Art. 41º de la OSPA, el cual exige específicamente, a los titulares de centrales que deban mitigar sus impactos, el considerar distintas alternativas de medidas de mitigación, y a las autoridades cantonales, que consulten a la OFEV (Oficina Federal del Ambiente – en sus iniciales en francés, equivalente al Ministerio del Ambiente Suizo) antes de tomar una decisión respecto del proyecto de mitigación.

### III. Campo de aplicación – definición de *hydropeaking*

La explotación por *hydropeaking*, o simplemente el *hydropeaking*, se refiere a variaciones diarias más o menos importantes del caudal de un curso de agua, ocasionadas por centrales hidroeléctricas que funcionan intermitentemente. Cuando la demanda de electricidad es alta, se turbinada por la central un caudal importante, el cual en su restitución aumenta los caudales hacia aguas abajo (caudal máximo o de *peaking*). Cuando la demanda es baja, el caudal turbinado, y por ende el caudal del río en el tramo bajo la restitución, se reducen a un mínimo (caudal mínimo, caudal valle, o caudal piso). Además de los caudales máximo y mínimo, los principales parámetros de un régimen de *hydropeaking* son la razón entre estos dos caudales, la magnitud del pulso de caudal [diferencia entre el caudal máximo y mínimo], y las tasas máximas a las cuales sube y luego baja la cota del agua (o bien el caudal).

Las variaciones del caudal por *hydropeaking* son causadas principalmente por las centrales de embalse, que almacenan agua durante períodos variables, para luego turbinarla de manera concentrada cuando la demanda de electricidad es alta. Sin embargo, las disposiciones de la LFSPA también se aplican expresamente a las centrales de pasada, que si bien modifican poco la cota del agua en su embalse de acumulación, de todas formas pueden provocar grandes variaciones en el caudal del río hacia aguas abajo. Esto queda refrendado con los resultados obtenidos en este estudio para el caso chileno, así como por la revisión de literatura respecto del *hydropeaking* en la cuenca de la Dordogne, Francia.

En el caso suizo, sólo se define como *hydropeaking* a aquellas variaciones de caudal regulares y de corta duración que resultan directamente de variaciones diarias ordinarias del caudal turbinado por una central hidroeléctrica. De tal manera, incluso aquellas centrales que sólo disponen de una poza de acumulación relativamente pequeña pueden provocar *hydropeaking*. La LFSPA no considera que sean *hydropeaking* todas las demás variaciones antrópicas del caudal, tales como variaciones del caudal causadas por una central a una escala distinta a la intradiaria, o bien vertidos desde plantas de tratamiento de aguas servidas. Tampoco se considera como *hydropeaking* las puntas de caudal producidas ocasionalmente por centrales hidroeléctricas, por ejemplo debido a limpiezas de embalse, paradas de emergencia, etc.

Cabe destacar que no se consideran como *hydropeaking* aquellas variaciones intradiarias naturales y regulares del caudal debidas al derretimiento de nieves y glaciares, cuya amplitud puede llegar a ser considerable en ríos de montaña. También puede ocurrir que los *peaks* irregulares de caudal debidos a crecidas alcancen valores superiores a los del *hydropeaking*; tales ocurrencias, sin embargo, son bastante más escasas, y en general menos bruscas que las de la generación de punta, sobre todo durante la recesión.

Finalmente, las disposiciones de la LFSPA y la OSPA sólo aplican a la restitución de aguas turbinadas hacia un curso de agua, y no para la restitución directa hacia un lago. La mejor manera de evitar los impactos del *hydropeaking* es que aquellas centrales que deban generar de punta restituyan a lagos, al mar, o a embalses. A la vez, esto puede convertirse en una alternativa de mitigación para centrales existentes, en los casos en que haya un lago, embalse o el mar cercano.

#### IV. Enfoques existentes para describir el *hydropeaking*

Tal como se describió, existe una serie de parámetros hidrológicos distintos que permiten describir el tipo y la magnitud de las fluctuaciones de caudal causadas por la generación de punta. Por ello, aquí enfatizaremos la discusión que se hace en el Manual respecto de su aplicabilidad, en vez de volverlos a explicar.

Algunos de estos parámetros hidrológicos se han usado también para estimar los supuestos impactos ecológicos del *hydropeaking*, sobre todo la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$  y las tasas de *ramping* para las cotas de agua. Como indican Baumann y Klaus (2003) sin embargo, tales evaluaciones descansan sobre casos relativamente poco estudiados, y con resultados ampliamente divergentes. Se concluye entonces, sobre la base de los conocimientos actuales, que el intentar evaluar los impactos ecológicos basándose sólo en parámetros hidrológicos, estará asociado a fuertes incertidumbres. Si bien los parámetros hidrológicos son un complemento útil al evaluar ecológicamente un tramo, ya que pueden calcularse y transponerse fácilmente a otros tramos, el intentar tal tipo de transposición para los indicadores ecológicos resulta difícil o totalmente imposible.

El Manual describe luego en detalle la metodología utilizada en Suiza para la descripción y evaluación del *hydropeaking* mediante criterios netamente hidrológicos (plasmada en un *software* conocido como HYDMOD). El método se basa en la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$ , que determina la intensidad del *peaking*, y en la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{ma}$  ( $Q_{ma}$  = caudal medio anual del tramo en estado no alterado), que es un indicador del estrés hidráulico causado por los pulsos de caudal. Esta normalización por el caudal medio anual tiene exactamente los mismos fines que el procedimiento que se utilizó anteriormente en este estudio: dar una idea de qué tan fuertes son los pulsos en relación a lo que la biota "siente en promedio".

En el esquema HYDMOD, las reglas de clasificación (esto es, los criterios utilizados para determinar a qué categoría o clase de calidad pertenece un cierto tramo) se basan también en conceptos ecológicos, puesto que la hidrología por sí sola no permite plantearle exigencias a un cierto régimen de caudal. En otras palabras, se usa la hidrología como un instrumento o índice, que permite plasmar de manera muy simplificada, aunque muy imprecisa, las observaciones ecológicas, así como las predicciones que de ellas se obtiene (las cuales son aún más imprecisas). Sin embargo, en muchos casos, la clasificación basada sólo en criterios hidrológicos no será la correcta.

Uno de los principales factores que determina los impactos de un cierto régimen de *hydropeaking* es la morfología del cauce: tramos que ofrecen una estructura morfológica más variada suelen presentar un mejor estado ecológico que aquellos que han sido canalizados, cuando se someten al mismo tipo de *hydropeaking*. Tal influencia positiva de contar con una morfología natural disminuye sin embargo si aumenta el efecto de los pulsos. De tal manera, proyectos de restauración fluvial (revitalización) que impacten positivamente la morfología pueden en cierta medida ayudar a atenuar los impactos del *hydropeaking*, por lo que tal tipo de medidas se puede



considerar **para complementar** las medidas de mitigación constructivas u operacionales (estas últimas sólo a solicitud del titular, según la legislación suiza).

Sin embargo, es importante recordar por un lado que las superficies que quedan secas durante los caudales valle o piso son mayores en tramos con morfología natural (o cercana a la natural), y por el otro recalcar que, en tramos con morfología fuertemente degradada, las medidas para mitigar los efectos de las fluctuaciones de caudal podrían no ser suficientes para alcanzar los objetivos de calidad ecológica.

## V. Planificación e implementación de las medidas de mitigación

Según la LFSPA y la OSPA, éstas se pueden subdividir en las cuatro fases siguientes, mostradas en la Figura 2.2:

- Fase 1: comprende la planificación cantonal para la mitigación de las centrales existentes, a efectuarse antes del 31 de Diciembre 2014. Se rige por el Art. 83<sup>b</sup>, números 1 y 2, de la LFSPA, y el Art. 41<sup>f</sup> de la OSPA, incluyendo su Anexo 4<sup>a</sup> que define las dos etapas de planificación. Al término de cada una de estas etapas, el cantón entrega un informe a la OFEV.
- Fase 2: el cantón se basa en la planificación que estableció, y en la opinión de la OFEV, para notificarle al titular de la central en cuestión la obligación de mitigar. En virtud del Art. 41<sup>g</sup>, número 2, los titulares deben estudiar distintas alternativas de mitigación.
- Aún dentro de la Fase 2, el cantón determina, para cada central, de entre todas las medidas que le fueron presentadas por el titular, aquellas que son más favorables (la alternativa óptima), y le encarga al titular preparar el proyecto de construcción respectivo (y, según sea la amplitud de tal proyecto, llevar a cabo un estudio de impacto ambiental). La autoridad cantonal vuelve a consultar a las autoridades federales antes de pronunciarse definitivamente respecto del proyecto.
- Fase 3: los titulares pueden presentar sus demandas para el financiamiento de las medidas de mitigación, y luego implementar las medidas previstas una vez que tal financiamiento esté asegurado. Según la LFSPA, tal Fase debe lograrse a más tardar a fines del 2030.
- Fase 4: en esta última fase, el titular, conforme al Art. 41<sup>g</sup>, número 3 de la OSPA, debe verificar la efectividad de las medidas implementadas.

Como se indicó antes, el foco de lo solicitado en el presente estudio guarda relación cercana con lo comprendido en las Fases 4.2 y 4.3 del proceso suizo, que son las que se cubrirán entonces en mayor detalle en lo que sigue.

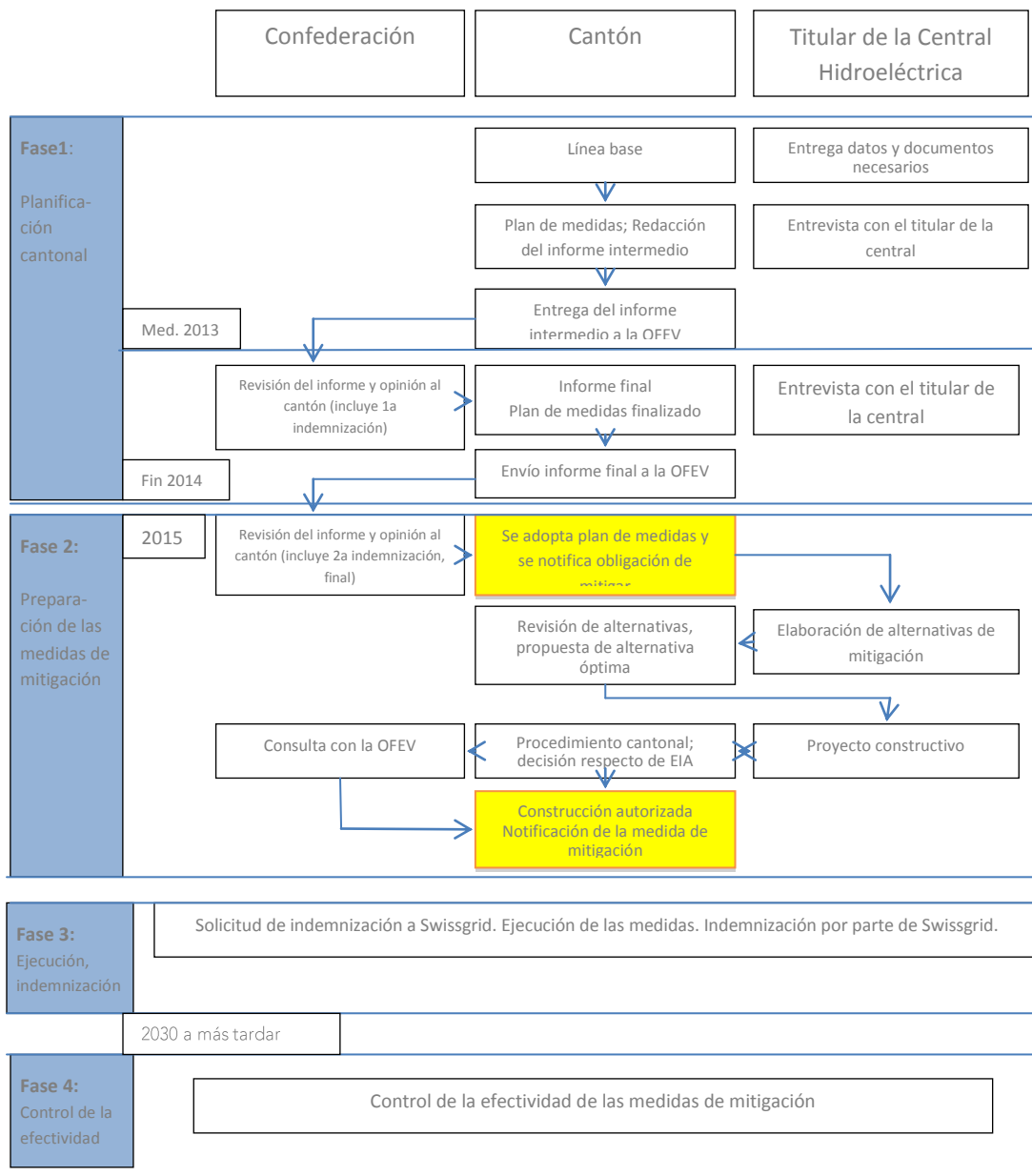


Figura 4.2 Planificación de las medidas de mitigación (Baumann et al., 2012)

#### 4.3.2.2 Determinación de los impactos severos

Una de las tareas principales de la planificación cantonal consiste en identificar aquellas centrales que estén provocando fluctuaciones artificiales del caudal **que causen impactos severos** a la fauna y flora nativas, y a sus hábitats, en el sentido del Art. 39ª de la LFSPA, así como los tramos de cauces sometidos a tales variaciones. El enfoque seguido en el presente estudio, de asociar centrales a tramos, es exactamente el mismo recomendado en el enfoque suizo.

En principio, las medidas de mitigación deben atenuar suficientemente tales fluctuaciones del caudal para que los impactos residuales ya no presenten la condición de severos (conforme a la

definición de mitigación según el Art. 83ª de la LFSPA). Aquellas centrales que no provoquen impactos severos no requieren de medidas de mitigación. La Figura 4.3 ilustra el procedimiento a seguir para determinar la ocurrencia (o no) de impactos severos, por lo cual permite a su vez identificar aquellos tramos donde se impondrá la necesidad de mitigar, así como aquellos donde no se exigirá ningún tipo de mitigación.

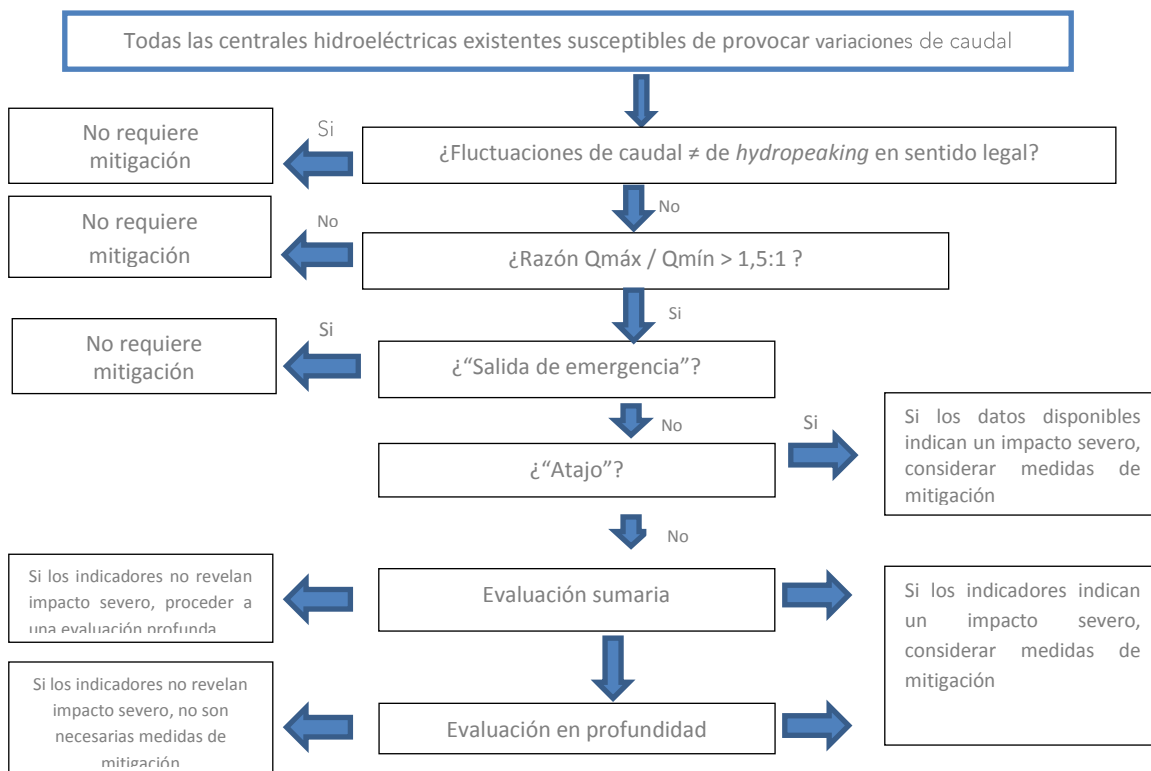


Figura 4.3. Determinación de impactos severos provocados por el *hydropeaking*, en el marco de la planificación cantonal (de Baumann et al., 2012)

Al inicio del proceso de planificación, deben considerarse todas aquellas centrales que pudiesen causar *hydropeaking*, así como todos los tramos de ríos potencialmente sometidos a fluctuaciones intradiarias del caudal (notar que éste fue el enfoque seguido en el presente estudio, como se documentó). En un primer paso, se excluye de este listado aquellos casos en que las variaciones del caudal no se deban a *hydropeaking* según su definición legal.

El hecho que el *hydropeaking* sólo afecte a un tramo muy corto de río **no significa que el caso sea despreciable**, ya que incluso tramos muy cortos pueden cumplir importantes funciones ecológicas. Los especialistas que participen de los trabajos de planificación deberán pronunciarse caso a caso respecto de la importancia de tales tramos cortos, y el cantón deberá luego justificar estas decisiones. Si el proceso documentara que ocurren fluctuaciones de caudal que no constituyen *hydropeaking* según su definición legal, pero de todas formas estén causando impactos ecológicos problemáticos, corresponderá verificar que no estén sometidas a otras regulaciones.

A continuación, el cantón debe examinar las demás centrales ubicadas en su territorio, para las que tenga competencia, aplicando el procedimiento uniformizado que se presenta a continuación y se muestra en la Figura 4.3. Determinará de la manera más simple posible los casos en que manifiestamente no se observe ningún impacto severo, y por ende en los cuales no sea necesario mitigar (razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$ , "salida de emergencia"), así como aquellos donde un examen rápido revele la existencia evidente de impactos severos, en los que obligatoriamente habrá que mitigar ("atajo" o evaluación sumaria). En aquellos casos en que no sea posible, de manera simple, establecer con seguridad la necesidad de mitigar o no, se tendrá que llevar a cabo una evaluación en profundidad.

## I. Eliminación de los casos que no requieren mitigación

En este caso, lo primero que debe considerarse es la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$ , y en algunos casos también puede tomarse la "salida de emergencia". Según la Ley, el *hydropeaking* no causa impactos severos si la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$  es menor a 1.5, aunque se permite sobrepasar el valor de cuando en cuando.

Debiera ser evidente que las variaciones de caudal provocadas por una central deberán ser medidas y consideradas allí donde su efecto sea el máximo, es decir, inmediatamente aguas abajo del punto de restitución de las aguas turbinadas. En efecto, hacia aguas abajo ocurrirá una atenuación natural que rebajará la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$ . Por otra parte, si esta razón es superior a 1.5 en algún punto ubicado más abajo de la restitución, puede plantearse que con mayor razón se sobrepasará tal límite al pie de la restitución.

Si los caudales medidos por una estación fluviométrica cercana no permiten describir el efecto que tiene una cierta central hidroeléctrica, existen dos formas aceptables de determinar la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$ :

- Extrapolar o transponer los caudales medidos por la estación más cercana hacia aguas abajo, lo cual sólo puede hacerse en la medida que no haya ningún efecto antrópico sobre el régimen de la cuenca intermedia
- Basarse en los datos de energía turbinada, lo cual siempre entrega una razón más desfavorable que la real, basada en caudales medidos (se hace notar que éste fue exactamente el procedimiento seguido para describir preliminarmente la ocurrencia de *hydropeaking* en ríos chilenos).

Cuando varias centrales se suceden en el mismo curso de agua, debe calcularse la participación de cada una de ellas en la razón final entre  $Q_{m\acute{a}x}$  y  $Q_{m\acute{i}n}$ , ya sea usando datos de energía generada o bien efectuando una modelación hidrológica. El Manual también indica cómo proceder en el caso de centrales pequeñas, en que típicamente no habrán datos fluviométricos disponibles.

## II. "Salida de emergencia" para efectos despreciables

Puede ocurrir que una central, y un tramo, deban figurar en el plan de mitigación, porque la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$  sea superior a 1.5, pero que tal situación sea manifiestamente contraria al espíritu del legislador. Por ejemplo, si vienen pulsos de *hydropeaking* desde aguas arriba, producidos por una central de embalse, una central de pasada ubicada más abajo, sin regulación, no tiene alternativa que no sea turbinarlos. Como no tendría sentido exigirle a la segunda central que mitigue pulsos

causados por la primera, el cantón puede tomar la salida de emergencia, explicando en su informe por qué no es necesario mitigar.

### III. El “atajo” para impactos manifiestamente severos

En algunos casos, el cantón puede considerar, sobre la base de datos existentes, que se tienen impactos severos, sin tener necesidad de efectuar la evaluación sumaria. Este caso es el contrario de la “salida de emergencia”, y el cantón también deberá demostrar por qué se cumplen las condiciones para escogerlo. En efecto, para tomar el atajo debe tenerse una justificación que sea verificable de que los impactos son severos.

Si el cantón determina la existencia de impactos severos tomando el atajo, debe explicárselo a los titulares. Si la OFEV concuerda con la elección, la obligación de mitigar puede notificarse tras este procedimiento abreviado. En tal caso, el informe intermedio deberá explicar por qué se verificaron impactos severos en una central para la cual se escogió un procedimiento abreviado, y deberá incluir el tipo de medidas de mitigación a considerar, así como la información necesaria para estimar el potencial ecológico y el grado de severidad de los impactos.

### IV. La evaluación sumaria

Análogamente a la etapa que permite eliminar aquellos casos que obviamente no requieren de mitigación, la evaluación sumaria sirve para identificar de la manera más simple que sea posible aquellos casos donde se exigirá mitigación sin lugar a dudas. Sin embargo, tal evaluación no puede sólo basarse sobre el valor de la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$ , debiendo también recurrir a indicadores en su mayoría biológicos. Como se explicó antes, una evaluación ecológica pueden mostrar fuertes diferencias respecto de una evaluación basada sólo en criterios hidrológicos, por lo cual sería demasiado riesgoso considerar sólo parámetros hidrológicos para obligar a mitigar.

Los indicadores considerados para identificar estos casos incluyen algunos parámetros biológicos y dos parámetros abióticos, que son todos simples y rápidos de medir. Sin embargo, la contraparte es que sólo es capaz de detectar impactos que son manifiestamente severos. Sólo una evaluación en profundidad es capaz de identificar la magnitud real de los impactos en los casos menos evidentes, de modo de determinar si tales impactos son o no severos.

Es importante notar que la metodología parte de la hipótesis que las exigencias ambientales de los animales más sensibles son mayores que las de las comunidades vegetales, por lo cual no se consideran indicadores vegetales.

También es fundamental darse cuenta que muchos de los indicadores son globales, es decir, no son específicos al *hydropeaking*, viéndose afectados por una serie de otros impactos antrópicos en ríos. Por lo anterior, su utilización debe respetar las dos exigencias siguientes:

- La calidad del agua en el tramo estudiado debe cumplir con la OSPA en cuanto a nutrientes y polutantes.
- Los impactos morfológicos, sobre todo los encauzamientos o canalizaciones así como la construcción de defensas fluviales, pueden tener efectos similares al *hydropeaking*. Para evitar que tales efectos falseen los resultados (es decir, puedan llevar a pensar que las condiciones están muy degradadas por causa exclusiva de las fluctuaciones de caudal),

sólo puede usarse la evaluación sumaria si el tramo afectado contiene aún segmentos con una morfología natural, o cercana al estado natural.

Si no existe ningún segmento que presente estas condiciones en el tramo afectado, entonces nada permite excluir a los efectos negativos de una calidad del agua y/o una morfología deficientes, en cuyo caso se debe efectuar la evaluación profunda. La única excepción a esta regla la constituye la existencia de algún tramo de referencia en otro río cercano, con calidad del agua y morfología similares al tramo afectado, pero sin fluctuaciones de caudal.

El Manual explica en detalle los distintos indicadores, las necesidades de datos para poder conocer la calidad del agua, así como las características que debe poseer un tramo para poder considerarse como referencia. Se destaca aquí, nuevamente, la importancia de la morfología, al indicarse que incluso si un tramo posee un segmento con morfología natural, que permitiría llevar a cabo los análisis, de todas formas conviene estudiar lo que sucede con las fluctuaciones en todas las demás morfologías. En efecto, cada morfología reacciona de manera distinta al *hydropeaking*, siendo imposible estimar la reacción específica de cada caso si es que no se ha estudiado en mayor detalle.

Por último, el tramo inmediatamente aguas abajo de la restitución siempre debe considerarse en el estudio, independientemente de cual sea su morfología. Los anexos explican en detalle cómo seleccionar los tramos de estudio.

## V. Determinación de impactos severos con la evaluación sumaria

Si se cumplen las condiciones descritas y explicadas en el Manual, se debe considerar que los impactos son severos cuando se tiene alguna de las siguientes combinaciones de resultados:

- Al menos uno de los indicadores indica mal estado (rojo), o bien
- Al menos dos indicadores revelan un estado mediocre (naranja), o bien
- Al menos tres indicadores están con estado intermedio (amarillo), o bien
- Un indicador muestra un estado mediocre y al menos otros dos un estado intermedio

Si la cantidad de indicadores que indican un estado no satisfactorio no sobrepasa estos límites, no se puede llegar a ninguna conclusión con la evaluación sumaria, debiendo procederse a una evaluación en profundidad para el tramo. Notar que la misma situación aplica cuando haya dudas respecto de la fiabilidad de los análisis y de la evaluación.

Al contrario, si un número suficiente de indicadores revelan un estado intermedio, mediocre o malo, puede considerarse de inmediato que el impacto es severo. En tal caso, el cantón puede renunciar a efectuar una evaluación profunda, si así lo desea, y comenzar a planificar las medidas de mitigación del *hydropeaking*. Los resultados de la evaluación sumaria permiten antes que nada efectuar un primer filtro grueso respecto de las medidas que podrían tomarse.

Para estimar la magnitud de tales medidas, aunque sea estimativamente, conviene llevar a cabo análisis más profundos que la simple evaluación sumaria. En todo caso, aquellos indicadores considerados en la metodología de la evaluación profunda pero que no hubieran sido evaluados en una evaluación sumaria en particular, deberán incluirse estrictamente durante la Fase 2, a cargo

de los titulares. Además, en esa investigación profunda deberá verificarse y confirmarse los resultados de la evaluación sumaria.

Como se indicó antes, si un tramo sujeto a *hydropeaking* no cumple con las condiciones necesarias para llevar a cabo una evaluación sumaria, y si además resulta imposible comparar en paralelo un tramo de referencia adecuado, sin fluctuaciones, entonces no quedará alternativa que efectuar una evaluación profunda.

En los casos más complejos, por ejemplo, cuando varias centrales se suceden en un mismo curso de agua, la evaluación sumaria no permite llegar a conclusiones adecuadas. En tal caso, también será necesario efectuar una evaluación en profundidad.

La Figura 4.4. consiste de un diagrama de flujo que contextualiza todos estos procedimientos. De más está decir, ya que pretende ser prescriptivo, en sus anexos el Manual describe cada uno de los indicadores, explicando cómo se evalúa y entregando bibliografía relevante respecto de sus bases teóricas y aplicación.

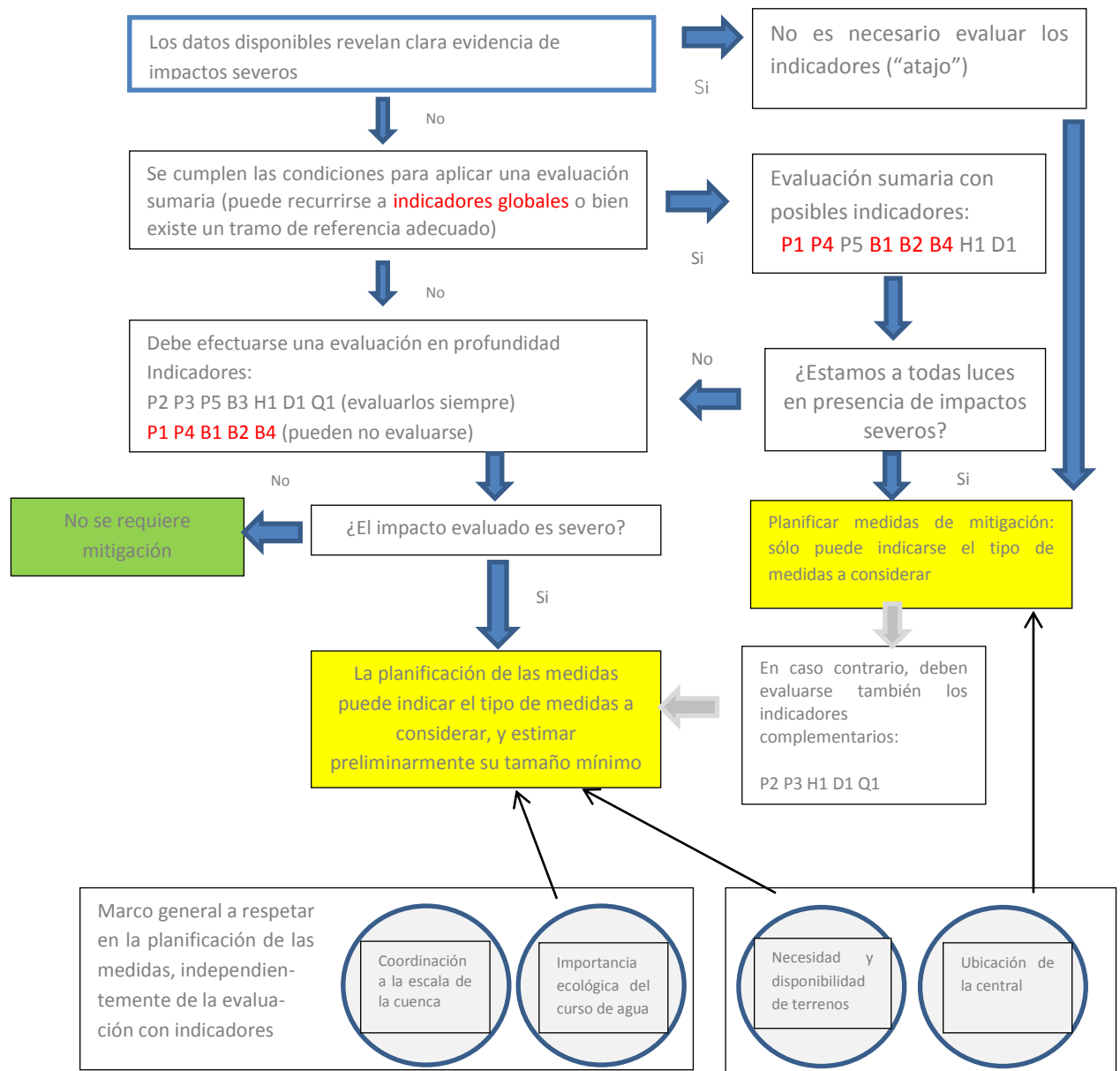


Figura 4.4 Posible desarrollo de la planificación y de los análisis, con los distintos indicadores a evaluar y los detalles de las tres etapas ("atajo", "evaluación sumaria", "evaluación en profundidad")

## VI. Evaluación en profundidad

Las primeras etapas en la planificación cantonal permiten eliminar del proceso a aquellas centrales que sin lugar a dudas no requerirán mitigación. Por otra parte, las etapas siguientes (evaluación sumaria, "atajo") permiten identificar aquellas instalaciones que deberán con seguridad ser mitigadas. Todas aquellas centrales que no caigan en ninguna de estas dos categorías tendrán que pasar por una evaluación en profundidad, conforme a lo explicado en el Manual, y mostrado en la



Figura 4.4. En los Anexos del Manual se entregan las bases teóricas y los detalles de las metodologías de análisis y evaluación que se usan en este caso.

La evaluación profunda sirve para determinar si la fauna y flora nativas, y sus hábitats, sufren o no impactos severos, en el sentido del Art 39<sup>a</sup>, número 1, de la LFSPA. Esencialmente, esta evaluación se lleva a cabo mediante una serie de indicadores que dan cuenta del tamaño, composición, y diversidad de las comunidades biológicas típicas de cada estación muestreada (ver Tabla 4.1). Tal como ocurrió en la evaluación sumaria, no se incorporan indicadores para las plantas, ya que se considera que sus necesidades quedan cubiertas por las exigencias de los organismos animales más sensibles, que son los macroinvertebrados acuáticos y los peces.

Los indicadores a utilizar en una evaluación profunda son los mismos de carácter global introducidos en la evaluación sumaria, si bien éstos se usan sólo de manera restringida. A éstos se suman una serie de indicadores suplementarios, los que evalúan el riesgo de varazón de organismos, los impactos sobre los nidos (zonas de freza) de peces, la correspondencia de la fauna de invertebrados con la posición longitudinal a lo largo del sistema fluvial, y las modificaciones a la temperatura del agua debidas al *hydropeaking* (el "*thermopeaking*"). Los anexos del Manual incluyen fichas detalladas, que entregan mayor información acerca de cada indicador y las metodologías para evaluarlos (véase también la Tabla 4.1).

Al contrario de la evaluación primaria, la evaluación en profundidad no sólo se lleva a cabo para el estado actual, sino que también para el estado "previsible". Éste incluye las modificaciones previstas sobre la base de los conocimientos actuales acerca de qué le ocurrirán a la calidad del agua y a la morfología del cauce, de aquí a que se venzan los plazos para cumplir con la mitigación del *hydropeaking* (fines 2030). También pueden considerarse modificaciones al régimen hidrológico, cuando se sabe de antemano que se alterará alguna central existente, aumentando su caudal nominal, o bien cuando alguna central deba renovar su licencia dentro del plazo indicado, en cuyo caso se le exigirá que cumpla con los caudales mínimos especificados en las enmiendas a la LFSPA.

En muchos tramos alpinos, la calidad del agua ya es cercana a las exigencias legales, por lo que no debiera cambiar mucho a futuro. Sin embargo, en los próximos 20 años se revitalizarán ("renaturalizarán") una serie de tramos con medidas para mejorar su morfología, por lo que su estado previsible es fácil de imaginar, aunque sea aproximadamente.

## VII. Determinación de impactos severos con la evaluación profunda

A estas alturas ya se han evaluado los distintos indicadores necesarios, tanto para el estado actual como para el estado previsible al 2030, por lo cual se ha podido definir los impactos existentes en un tramo. Al igual que en la evaluación sumaria, éstos se considerarán severos si se tiene que:

Tabla 4.1 Indicadores usados en las evaluaciones sumaria y profundas, así como para estimar la amplitud de las medidas de mitigación necesarias

Características del <i>hydropeaking</i>	Indicador	Relación entre indicador y característica	Aplicación práctica
Cota del agua durante el caudal <i>peak</i> y durante el caudal piso (amplitud del <i>hydropeaking</i> )	P3 Zonas de freza	Disminuir el caudal <i>peak</i> o aumentar el caudal piso (reduciendo así la amplitud del <i>hydropeaking</i> ) trae como consecuencia un aumento en el tamaño de las zonas de freza propicias a la reproducción de los peces. En efecto, se reduce el transporte de material del lecho durante la punta, y se secan menos superficies durante el valle.	Modificar progresivamente los caudales punta y valle, hasta que el indicador P3 (establecido por cálculo mediante modelo) ya no muestre un impacto severo.
Cota del agua durante el caudal <i>peak</i> y durante el caudal piso (amplitud del <i>hydropeaking</i> ; tasa de ascenso y de descenso en la cota del agua)	Q1 Temperatura del agua	Las variaciones de temperatura entre el caudal punta y el caudal piso (y vice-versa) son tanto más grandes, mientras más grande sea la magnitud de la subida y de la bajada, o bien mientras más rápida sea la transición	La amplitud o las tasas de variación entre el caudal punta y el caudal valle se reducen (por cálculo de dilución) hasta que los parámetros de temperatura correspondan al indicador Q1.
Cota del agua durante el caudal punta y tasa de ascenso de la cota del agua	H1 Colmatación	Disminuir la cota del agua durante el caudal de punta, así como la tasa de subida de la cota, reduce la resuspensión del material fino depositado sobre el fondo del lecho. La turbidez será entonces menor y se reducirá la colmatación.	La concentración máxima de materia en suspensión proviene de la evaluación del indicador H1. A partir de esto, sólo se obtiene una estimación grosera de la cota del agua durante la punta, así como de la tasa de subida.
Cota del agua durante el caudal mínimo o valle	D1 Caudal mínimo	Este indicador muestra un impacto severo cuando el caudal mínimo al pie de la central no cumple con las exigencias de la LFSPA	Fijar el caudal mínimo en la restitución tal como lo exige LFSPA
Tasa de bajada de la cota del agua	P2 Varazón (cálculo)	Disminuir la tasa a la cual baja la cota o bien el caudal (es decir, prolongar la transición entre Q <sub>máx</sub> y Q <sub>mín</sub> ) reduce el riesgo de varazón para peces y macroinvertebrados	Conviene bajar la tasa de descenso de la cota hasta que el indicador P2 (calculado) ya no muestre impacto severo.

- Al menos uno de los indicadores indica mal estado (rojo), o bien
- Al menos dos indicadores revelan un estado mediocre (naranja), o bien
- Al menos tres indicadores están con estado intermedio (amarillo), o bien
- Un indicador muestra un estado mediocre y al menos otros dos un estado intermedio

Por otra parte, si la cantidad de indicadores que revelan un estado insatisfactorio es menor, entonces no hay impacto severo y no será necesario mitigar.

### 4.3.2.3 Informe intermedio

Esta materia sólo se trata superficialmente, ya que se refiere más bien a aspectos de procedimiento, muy específicos al caso suizo. El único tema que se enfatiza es aquél que guarda relación con las medidas de mitigación factibles de aplicar en cada caso.

El primer aspecto a incluir en este informe intermedio (que los cantones debían entregar a fines de 2013 al gobierno federal) es el listado de todas las centrales hidroeléctricas susceptibles de causar fluctuaciones intradiarias de caudal, algo similar a lo efectuado en el marco de este proyecto (el listado de tramos de ríos potencialmente afectados a fluctuaciones). Suiza tiene una base de datos actualizada anualmente en que se indica el emplazamiento exacto de la casa de máquinas de cada una de las centrales hidroeléctricas en su territorio. Chile solicita esta información en las evaluaciones ambientales de centrales hidroeléctricas, y para algunos de los permisos sectoriales, pero falta mantener una base de datos consolidada y actualizada.

Además, el informe debe incorporar los tramos de río que, a juicio del cantón, se verían afectados por el *hydropeaking*. El listado debe incorporar también las centrales de pasada y sus tramos de aguas abajo. El Manual menciona las distintas fuentes que pueden consultarse, en Suiza, para lograr de mejor manera cada paso del análisis. En el caso chileno, tendría que hacerse un análisis caso a caso, basado en la disponibilidad de estaciones fluviométricas cercanas.

El informe debe incluir nociones acerca de todas aquellas centrales que pudiesen estar causando impactos severos, así como aquellas que claramente no provocan tales efectos. A continuación, debe determinar el potencial ecológico de cada tramo afectado por impactos severos, lo cual a estas alturas del proceso de planificación sólo puede hacerse de manera aproximada. Este potencial guarda relación con la importancia ecológica del curso de agua en su estado actual y, para aquellos ríos que ya sufren otros tipos de impactos antrópicos, de la importancia ecológica que podrían llegar a tener tras remediar tales impactos, siempre que ello implique costos razonables.

Para determinar el potencial ecológico se debe considerar distintos criterios como: si es que el tramo y sus riberas están inscritos en inventarios nacionales o cantonales de sitios protegidos, presencia de hábitats vulnerables o escasos, posibilidad de desarrollo morfológico dinámico, propio de un cauce natural (por ejemplo, desarrollo de barras), emplazamiento en la red hidrográfica, rol especial en el paisaje, etc.

La potencial importancia futura de un sitio puede determinarse sobre la base de un tramo de referencia, si lo hubiera, o bien basándose en las nociones que se tenga acerca del estado previsible.

Por otra parte, la severidad del impacto debe determinarse con precisión, siguiendo los procedimientos ya indicados para las evaluaciones sumarias y profundas.

### I. Medidas de mitigación factibles y probables

El informe debe contener, para cada central hidroeléctrica que esté causando impactos severos, las medidas de mitigación factibles, su evaluación, las medidas de mitigación que probablemente se

aplicarán, así como su coordinación sobre el conjunto de la cuenca de drenaje. Para poder determinar las medidas factibles de realizar, en esta etapa precoz de la planificación, o mejor aún, para poder escoger aquellos tipos de medida a privilegiar, es menester incorporar a los titulares de las centrales en los trabajos de planificación. Conviene en particular verificar si el emplazamiento de la central impone, por sus características, alguna(s) medida(s) específica(s).

La Ley suiza prevé en primer lugar la implementación de medidas constructivas, y en segundo lugar, y sólo a petición del titular, la posibilidad de usar medidas operacionales. Por ello, sólo deben examinarse posibles medidas operacionales en la medida que el titular así lo haya solicitado. Estos tipos de medidas fueron definidos en el presente estudio.

En el caso de las medidas constructivas, es posible estimar con antelación la superficie de terreno necesaria, y verificar su disponibilidad en las cercanías de la central. Una alternativa corresponde a la cercanía relativa de lagos, embalses, o el mar, en cuyo caso, la estimación tendría que ver con la manera de entregar las puntas de caudal (o parte de ellas) hacia tales cuerpos de agua, sea mediante un canal o bien un túnel. Por cierto, en todas estas discusiones debe además mantenerse adecuadamente los intereses de protección de la naturaleza y del paisaje.

Las siguientes medidas de mitigación pueden considerarse para mitigar las fluctuaciones causadas por la generación de punta:

#### 1. Constructivas

- Verter directamente las aguas turbinadas a un lago, al mar o a un embalse
- Derivar las puntas de caudal hacia una galería subterránea o canal separados del cauce
- Construir contra-embalses, piscinas o cavernas subterráneas de detención que sean los suficientemente grandes como para atenuar la amplitud de los pulsos
- Construir piscinas más pequeñas, para amortiguar solamente las tasas de subida y bajada de los caudales y de las cotas del agua, pero no su magnitud

#### 2. Operacionales

- Aumentar el caudal mínimo aguas abajo de la piscina de acumulación de la central
- Disminuir el caudal máximo, reduciendo la producción de energía en punta
- Disminuir las tasas de subida y de bajada de las cotas del agua, gradualizando la partida y la parada de las unidades, o procediendo de forma escalonada
- Recurrir a una operación anticíclica de varias centrales sucesivas

Notar que la Ley suiza no permite aplicar medidas de mitigación que impliquen cambios morfológicos en los cauces. En el presente estudio tampoco se recomienda tal tipo de medida *in-situ* para ríos chilenos, que no sean aquellos que hayan sufrido impactos morfológicos anteriores muy fuertes en el pasado, por causa de rectificaciones, encauzamientos, extracción de áridos, disposición de residuos de minería, etc.

En el caso de las medidas constructivas, no se trata sólo de estudiar de manera detallada la posibilidad de construir un contra-embalse o piscina de compensación, con el cálculo de su tamaño, sino que de considerar desde la partida otras alternativas, algunas de las cuales pueden ser innovadoras:

- Piscinas de detención con usos múltiples, que contribuyan a la protección contra crecidas, a las actividades turísticas y de recreación, a la producción de electricidad, etc.
- Utilización simultánea de las piscinas de compensación para fines de acumulación y como central de bombeo
- Derivación de los caudales punta en tuberías a presión, y generación con estos caudales en otras centrales, por ejemplo, que entreguen en lagos

Se destaca que la Ley suiza no permite que los contra-embalses o piscinas de compensación se ubiquen *on-line*, sobre los mismos tramos que se desea revitalizar. En efecto, esto causaría problemas de conectividad para los organismos y sedimentos. Por ello, tales construcciones siempre deben diseñarse en modo *off-line*, ubicadas al costado.

Según todo lo anterior, deben considerarse desde el inicio la mayor cantidad posible de alternativas, sin excluir ninguna *a priori*. Como la posibilidad de considerar medidas operacionales depende que el titular de la central así lo solicite, es importante incluir a los representantes de las compañías generadoras desde el inicio en el proceso planificadorio.

#### 4.3.2.4 Fases siguientes en el proceso de planificación

El proceso de planificación suizo, descrito en las Secciones de la 4.3.2.1 a la 4.3.2.2, no puede concluir al nivel del informe intermedio, por las siguientes razones:

- Si el cantón identificó la necesidad de mitigar basado sólo en los indicadores generales de la evaluación sumaria, o con la salida del "atajo", que es aún más simplificada, lo único que podría hacer en esta etapa sería dar indicaciones generales relativas al tipo probable de medida de mitigación a considerar. No habrá suficiente información, ni en cantidad ni detalle, como para avanzar más. En este caso, el dimensionamiento de la medida sólo podrá fijarse durante la Fase 2 del proceso, cuando el titular de la central planifique las medidas de mitigación.
- Por otra parte, durante la primera fase de la planificación, es muy difícil coordinar las medidas a la escala de la cuenca de drenaje, sobre todo en las hoyas de mayor tamaño, que cuentan con numerosas centrales hidroeléctricas en funcionamiento. En este caso se requiere efectuar una evaluación en profundidad, completa, para cada planta, de manera de saber qué impactos causa cada una de ellas, y poder determinar así juiciosamente qué medidas de mitigación exigirle.
- Finalmente, la Ley suiza contempla el caso de las "centrales con circunstancias particulares", que se refiere a aquellos casos complejos, donde coexisten varias centrales en un mismo curso de agua, causando *hydropeaking*.

Por lo anterior, la OSPA considera dos pasos posteriores a la entrega del informe intermedio, que corresponden a la planificación hasta el 2014, y a la Fase 2 del proceso, que incluye el papel que deberán jugar los titulares de centrales, así como el monitoreo o control de efectividad de las medidas de mitigación implementadas como resultado de la planificación.

## I. Planificación hasta el 2014

Los cantones tenían plazo hasta el 31 de Diciembre de 2014 para entregar un informe final con los resultados de la Fase 1 del proceso de planificación. En primer lugar, tal informe debe abordar las preguntas de quién debe mitigar, y dónde se debe mitigar, incluyendo:

“... un listado de las centrales hidroeléctricas cuyos titulares deben tomar medidas de mitigación para eliminar los impactos severos causados a la fauna y flora nativas y a sus hábitats por las fluctuaciones debidas a hydropeaking ...”

En este informe, además del listado, se debe ubicar en una carta aquellas centrales que definitivamente deberán ser mitigadas. El listado también debe incorporar aquellas instalaciones para las que la evaluación sumaria había indicado que provocan impactos severos, y que figuraban en tal categoría en el informe intermedio.

Además, los cantones debían someter a evaluaciones en profundidad a todas aquellas centrales y tramos de río que no habían podido eliminarse del procedimiento en sus etapas tempranas, o bien que no habían podido clasificarse entre aquellas con impactos manifiestamente severos (véase Sección 4.3.2.2). Los cantones deben explicar cómo llevaron a cabo tales evaluaciones en profundidad, así como cuáles fueron sus resultados (qué datos existentes se utilizaron, que estudios llevó a cabo el mismo cantón, una evaluación de los indicadores, las razones que llevaron a no considerar a todos los indicadores en la evaluación, etc.).

El informe final debe completar la lista de centrales a mitigar, especificando:

“... las medidas de mitigación previstas, así como los plazos fijados para su planificación e implementación: tales plazos se fijan según qué tan urgente sea mitigar.”

El cantón elabora aquí una planificación sumaria de las medidas concretas destinadas a mitigar el *hydropeaking*. Según indica el Artículo 39<sup>a</sup>, Número 1, de la LFSPA, tales medidas son en general del tipo constructivo, puesto que las medidas operacionales sólo pueden exigirse en la medida que esto haya sido solicitado por el titular de la central. Al planificar tales medidas, se intenta principalmente aclarar las dos temáticas que siguen:

1. ¿De qué manera y en qué medida debe disminuirse las fluctuaciones por *hydropeaking* para eliminar los impactos graves que están ocurriendo?
2. ¿Qué medidas de mitigación, ejecutables para el caso considerado, permitirán obtener la disminución necesaria de las fluctuaciones?

Si bien estos dos aspectos se suceden cronológicamente en la planificación, es sin embargo posible considerarlos por separado al inicio del proceso. Incluso, la selección de las probables medidas para aminorar los efectos del *hydropeaking* puede comenzar antes de que se conozcan en detalle los impactos actuales.

## II. Tipo y envergadura de las medidas

Respecto de la pregunta (a), el tipo y magnitud de los impactos actuales se determinan a partir de diversos indicadores, en un análisis de déficit. Mientras más sean los indicadores de la evaluación profunda que indiquen un impacto severo o muy severo, más importante deberá considerarse el efecto de las fluctuaciones, y más esfuerzo habrá que poner en mitigarlas.

La evaluación profunda también indica, en cierta medida, hasta qué punto, de qué manera, y respecto de qué parámetros conviene aminorar las fluctuaciones, tal como se mostró en la Tabla 4.1.

En la presente etapa de la planificación, sólo puede estimarse de qué manera y hasta qué punto se deberá atenuar las fluctuaciones. Recién en la Fase 2 de la planificación, que le incumbirá a los titulares de las centrales a contar del 2015, se determinará con mayor precisión los déficits existentes, y se establecerá una planificación detallada de las medidas a tomar, sobre la base de modelos que simulen los efectos de distintos escenarios de fluctuaciones de caudal.

## III. Determinación de las medidas a implementar

Respecto de la pregunta (b) anterior, importa en primer lugar acotar los tipos de medidas factibles de aplicar para cada caso concreto, las que se enumeraron en la Sección 4.3.2.3.

Según lo soliciten los titulares de los proyectos, es posible aplicar medidas operacionales en vez de, o para complementar las constructivas. Un ejemplo de lo anterior sería que el titular de una central ubicada aguas abajo compensara las fluctuaciones de caudales causadas por una planta ubicada aguas arriba, mediante una operación anticíclica de su embalse. Otras medidas operacionales van desde la optimización de la gestión de una serie de centrales que operan en sucesión, hasta la modificación completa del modo de operación, pasando por ejemplo, de una producción de punta a una producción continua.

En muchos casos, sin embargo, las medidas constructivas serán las únicas prioritarias, sino factibles. La mayor parte de éstas considera la implementación de nuevas obras en el paisaje (piscinas de compensación o contra-embalses, canales de derivación, etc.). Las alternativas subterráneas (cavernas de compensación, túneles de derivación, etc.) economizan espacio, pero son generalmente mucho más costosas. Por ello, la disponibilidad de terrenos cerca de una central, así como las necesidades de espacio para distintas posibles soluciones, muchas veces restringirán la elección de las medidas más factibles, que podrán estudiarse en mayor detalle.

Al planificar medidas de mitigación constructivas, importa verificar desde el inicio si ocurrirán potenciales conflictos o sinergias (protección de la naturaleza, del paisaje y del patrimonio; agricultura; forestación; actividades recreativas; posibilidad de acumulación para centrales de bombeo, etc.). Tal verificación debe apoyarse principalmente en las reglamentaciones e instrumentos de gestión territorial.

En las situaciones complejas, con varias centrales ubicadas en sucesión en un mismo curso de agua, conviene coordinar las medidas de mitigación desde la partida a la escala de la cuenca de drenaje. En tales casos, es preferible iniciar la planificación por aquella central ubicada más aguas

arriba, incorporando luego progresivamente aquellas centrales hacia aguas abajo. Esta es la única manera de garantizar que los efectos de las medidas implementadas aguas arriba sean conocidos al momento de planificar las centrales de aguas abajo, pudiendo así integrarlas.

El objetivo final es que todas las centrales dentro del cantón, ya sea individualmente o bien consideradas en conjunto, deban considerar mitigación de modo de que ningún tramo con *hydropeaking* siga sufriendo impactos ecológicos severos. La OSPA indica los procedimientos específicos a seguir cuando los impactos de una cierta central son exportados al cantón ubicado hacia aguas abajo, obligando en tal caso a coordinar entre los cantones concernidos.

En el caso de privilegiarse una piscina o caverna de compensación como medida de mitigación, el Manual incorpora en sus anexos un método aproximado, de fácil aplicación, para dimensionar preliminarmente su tamaño. Si bien el método requiere datos de la evaluación en profundidad, los resultados dependen principalmente de la magnitud de los pulsos y de las tasas de disminución de la cota del río o de los caudales.

Tras haber determinado aproximadamente las medidas de mitigación factibles y, en casos complejos, después de coordinar tales medidas a la escala de la cuenca, el cantón debe fijar el orden en el cual deberán mitigarse las distintas centrales, así como los plazos para la planificación y la implementación de las medidas. Para lograr esto, debe basarse principalmente sobre la importancia ecológica de los distintos cursos de agua considerados. Tal definición de las prioridades no implica subjetivizar la aplicación de medidas, puesto que no tiene ninguna incidencia sobre su determinación. Sólo consiste en determinar cuál será la urgencia de mitigar las distintas centrales, desde el punto de vista ecológico, y en fijar sus plazos de mitigación.

#### IV. Fase 2 de la planificación

La OFEV debe revisar el informe final de planificación cantonal, con el listado de centrales a mitigar así como las medidas previstas en cada caso. Si se aprueba tal informe, el cantón puede solicitar desde el año 2015 que se mitiguen las instalaciones, exigiéndoles a los titulares que prosigan con la planificación de las medidas para atenuar los efectos de las fluctuaciones del *hydropeaking*.

Según el Artículo 41<sup>o</sup>, número 1 de la LFSPA, los titulares están explícitamente obligados a elaborar y examinar una serie de alternativas para la mitigación. Aquí inicia la Fase 2 del proceso de planificación, que no concierne directamente al Manual. En ésta, los titulares deben llevar a cabo una evaluación complementaria, la que se inicia con la evaluación completa en profundidad (Sección 4.3.2.2), a menos que ésta ya haya sido realizada por el cantón. A pesar de lo anterior, y aunque el cantón ya haya efectuado tal evaluación en profundidad, se recomienda analizar nuevamente algunos de los indicadores más relevantes, con el objetivo de reforzar la validez de los resultados.

La evaluación complementaria cubre intencionalmente más que la fundamental, ya que incorpora indicadores suplementarios, además de tomar en cuenta la nueva situación en cuanto a los objetivos de desarrollo (definidos y explicados en los anexos del Manual). Así, se puede conocer con mayor precisión el grado de severidad de los impactos y el potencial ecológico del tramo de estudio, los dos factores fundamentales a la hora de planificar las medidas de mitigación.



Recién terminada la evaluación complementaria, los titulares deben elaborar y examinar diversas alternativas de medidas de mitigación. Este trabajo consiste en estudiar y comparar la efectividad ecológica así como el costo de diferentes combinaciones de medidas, así como diferentes tamaños de ciertas medidas (por ejemplo, contra-embalses). Inevitablemente, tales estudios guardan relación con regímenes o escenarios de caudales que no existen en la actualidad, por lo que es imposible analizarlos en el "mundo real". Por ello, en la Fase 2 se plantea efectuar "ensayos de *hydropeaking*", en los que se reproduzca en plazos cortos (unas pocas horas a un día) las fluctuaciones asociadas a las distintas alternativas, de modo de verificar en terreno sus impactos. Sin embargo, debe quedar en claro que tales ensayos sólo permiten apreciar efectos de corto plazo, como la varazón de organismos o los efectos sobre la temperatura del agua o la concentración de materia en suspensión. No permiten en ningún caso estimar los impactos acumulativos, en el largo plazo, por ejemplo sobre los tamaños de los individuos, o bien la composición y diversidad de la comunidad.

Por otra parte, los ensayos de *hydropeaking* sólo pueden llevarse a cabo en tramos existentes, con una cierta morfología, y sus resultados son en general imposibles de transponer a otros tramos. Por ello, también puede ser necesario recurrir a modelos hidráulicos y ecológicos de una complejidad mucho mayor, terreno de especialistas. Se reconoce sin embargo sus limitaciones respecto de la capacidad de simular los impactos del *hydropeaking*.

## V. Monitoreo de las medidas de mitigación

Una vez implementadas las medidas de mitigación, el Artículo 41g, Número 3 de la OSPA exige que los titulares de las centrales verifiquen la eficacia de tales medidas, bajo la orden de la autoridad competente. Este monitoreo o control de eficacia constituye la cuarta y última fase en el proceso legal para mitigar los efectos del *hydropeaking* en Suiza.

Aún no se ha establecido los procedimientos exactos para este monitoreo, pero Baumann *et al.* (2012) recomiendan en el Manual que lo ideal sería basar este control sobre los mismos indicadores evaluados durante la planificación estratégica cantonal (fase 1) y durante la planificación por parte de los titulares (fase 2). De esta manera, será posible comparar fácilmente los resultados de aquellos estudios y análisis ejecutados antes de la implementación de las medidas de mitigación, con los que se lleven a cabo después.

### 4.3.3 Aplicabilidad del enfoque suizo al caso chileno

En los capítulos anteriores, en particular en la Sección 4.3.2, ya se ha discutido en múltiples ocasiones la aplicabilidad que tiene el enfoque suizo para el caso chileno, pero más bien desde la perspectiva de los detalles. También se ha enfatizado en la Sección 2.6 que los tipos de ríos afectados por *hydropeaking* en Suiza son en general similares a sus congéneres chilenos. Finalmente, debe considerarse que, aunque en Suiza hay un desarrollo mucho mayor de la hidroelectricidad que en Chile, el rango de tipos y tamaños de centrales es similar, con excepción de las centrales de bombeo, que no son un problema desde el punto de vista de los impactos del *hydropeaking* (al contrario, son una de las soluciones).

A continuación, se discute la aplicabilidad del enfoque suizo a la realidad nacional actual, considerando en particular los siguientes aspectos: (i) identificación de las centrales que generan

fluctuaciones y de los tramos que sufren su influencia, (ii) cuantificación del impacto por tramo, (iii) estimación de la importancia ecológica de los tramos, (iv) adjudicación de los impactos a distintas centrales, y (v) evaluación de las medidas de mitigación factibles.

#### 4.3.3.1 Identificación de las centrales y tramos

La primera parte de esta temática –identificar las centrales que causan fluctuaciones intradiarias de caudal- es casi tan fácil de realizar en Chile que en Suiza. De hecho, en gran medida, la metodología aplicada en el presente estudio, sobre la base de los datos de generación emanados del CDEC-SIC, resuelve el problema, al menos al nivel de generalidad propio de un proceso de planificación a la escala nacional.

Delimitar correctamente la extensión afectada en cada tramo ya es un problema más difícil, principalmente por los siguientes motivos: (i) la superposición con una serie de otros impactos ambientales que también pueden ser severos, como la minería de áridos, la extracción de caudal con fines consuntivos, la introducción de especies invasoras, etc., (ii) la menor densidad de estaciones fluviométricas en el caso chileno, lo cual dificulta verificar el tramo con influencia hidrológica, y (iii) la ausencia casi total de estudios de ecología fluvial en Chile, que permita ligar los cambios hidrológicos (y morfológicos asociados) con efectos biológicos sobre los organismos, tanto a la escala poblacional, comunitaria y ecosistémica.

En el presente estudio, se utilizó un esquema subjetivo para determinar la longitud aproximada del tramo afectado. Probablemente, para nuestra realidad, lo mejor que se pueda lograr sea hacer una determinación netamente hidrológica, basándose en las estaciones fluviométricas disponibles, y/o en campañas de medición sinópticas de los caudales y cotas. Para ser conservador, dada la carencia de datos, es probable que tales campañas debiesen efectuarse en la época con coincidencia de menores caudales y mayores pulsos. Lo anterior también pone también en relieve la necesidad de incrementar la densidad de estaciones fluviométricas en Chile.

Es importante notar que, cualquier esquema que pretenda mitigar adecuadamente los impactos de las fluctuaciones por *hydropeaking* en Chile debiera considerar *sine qua non* la realización de una serie de estudios interdisciplinarios, de ecología fluvial e hidromorfología, de modo de ir creando la base de información necesaria para ligar los impactos sobre el sistema físico con los efectos ecológicos a distintas escalas.

#### 4.3.3.2 Cuantificación del impacto

Al igual que en el caso anterior, dada la ausencia de estudios ecológicos que sean útiles a este fin, probablemente debiéramos limitarnos preliminarmente, en el caso chileno, a un esquema basado en indicadores hidrológicos, los cuales se usarían como *proxy* de los potenciales impactos ecológicos.

Si bien se reconoce lo básico de tal enfoque (como bien discuten, en múltiples oportunidades, Baumann y Klaus, 2003, Charmasson y Zinke, 2011, y Baumann *et al.*, 2012), es la única aproximación realista mientras no se genere información ecológica sobre los efectos ecológicos del *hydropeaking*, para las especies y ríos chilenos. Al empezar a contar con datos sobre tasas de varazón y efectos poblacionales para especies nativas (por ejemplo), se podría de a poco

incorporar tal información en la determinación de medidas de mitigación más refinadas y acordes a los requerimientos de nuestra fauna.

Dado el nivel de desarrollo de Chile, y al menos para aquellos tramos afectados donde se tenga otros impactos ambientales relevantes, es muy probable que la regla hidrológica usada en Suiza para determinar impactos severos (esto es, que la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$  supere un umbral de 1.5) sea demasiado conservadora. ¿Qué valor debiera usarse en Chile? Probablemente deba ser mayor, pero no en demasía. Aquellos ríos que en la actualidad tienen razones  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$  en el orden de magnitud de  $10^1$  a  $10^2$ , indudablemente están sufriendo impactos ecológicos fuertísimos, que no podemos descontar sólo por el hecho que no hayan sido documentados aún.

#### 4.3.3.3 Estimación de la importancia ecológica de los tramos

Este es un tema muy relevante en el enfoque suizo, y también debe serlo para el caso chileno. Está claro que no debiera dar lo mismo afectar tramos que ya sufren de una serie de otros problemas ambientales, tal vez mayores, o bien que tienen un estatus de conservación alto (sea éste actual o bien sólo potencial).

En este estudio, se intentó incorporar preliminarmente parte de estos aspectos, al caracterizar los distintos tramos de ríos, mediante la incorporación de la variable "grado de afectación ambiental". Ésta se relevó subjetivamente tomando en cuenta aspectos como: cantidad y extensión de extracciones de áridos; cercanía a zonas urbanas; presencia de industrias y agro-industrias a lo largo del cauce y sus tributarios; presencia de vegetación a lo largo del cauce, y su carácter; cantidad y tamaño de bocatomas de riego; presencia de actividad minera; vertidos de plantas de tratamiento de aguas servidas y de pisciculturas a lo largo del tramo, etc. Faltaría cruzar esta información con bases de datos territoriales que den cuenta del potencial de conservación.

La importancia ecológica de los tramos, medida como una ponderación de su estado ambiental actual y su potencial ecológico, podría usarse para ponderar las exigencias en cuanto a medidas de mitigación, o bien para requerir umbrales variables de la razón  $Q_{m\acute{a}x}/Q_{m\acute{i}n}$ , de modo de ser más estricto en tramos más prístinos o con mayor importancia ambiental o ecológica.

#### 4.3.3.4 Adjudicación de los impactos a distintas centrales

El esquema suizo se toma grandes penas en tratar de ser justo, en el sentido de adscribirle a cada central sólo aquella parte de los impactos que le corresponde. En el caso chileno también se tienen muchos casos de cuencas o incluso cauces con múltiples centrales en serie, para los cuales cualquier intento de mitigación deberá ser capaz de adjudicar impactos.

Es importante notar, como un aspecto lateral, que en el proceso suizo no son las compañías generadoras las que deben pagar las medidas de mitigación (aunque al parecer sí deben financiar y llevar a cabo los estudios de la Fase 2, como se indicó en la Sección 4.3.2.4); éstas son costeadas en gran medida por el sistema eléctrico en su conjunto, y en menor parte por el Estado suizo. En otras palabras, el mecanismo de financiamiento reconoce que, en el caso de las centrales existentes, sus impactos por *hydropeaking* son en cierta forma un reflejo de una forma antigua de hacer las cosas, en que se permitía externalizar impactos. Así, la solución pasa por que todos los

consumidores paguen un poco más por la electricidad, y sea entonces la sociedad la que se encargue de costear la mitigación.

El adscribir correctamente los impactos a las distintas centrales ubicadas en una misma cuenca o cauce sería más fundamental en el caso de requerir mitigación privada de tales impactos. Con la escasa información disponible en Chile, es probable que la repartición de los impactos tendría que hacerse netamente sobre la base de los efectos hidrológicos. De todas maneras, tal como se discute en el Manual de Baumann *et al.* (2012), ello requeriría estudios dedicados, con aplicación de modelos hidrológicos para suplir la carencia de datos fluviométricos.

#### 4.3.3.5 Evaluación de las medidas de mitigación factibles

El enfoque seguido en Suiza, en que sólo se permiten medidas constructivas o bien operacionales (aunque esto último sea sólo a petición del titular), parece adecuado en general.

Se debe ser muy precavido a la hora de recomendar medidas *"in situ"*, consistentes en esquemas de restauración o renaturalización de tramos. Tales medidas, que no se contemplan en el caso suizo, sólo pueden aportar un impacto positivo en la medida que el tramo de aplicación ya esté ampliamente degradado en su estado hidromorfológico actual, por ejemplo por encauzamientos o extracciones de áridos.

En tal caso, sin embargo, se tendría un doble problema de comparación y asignación de impactos ambientales. Por un lado, ¿por qué debiera el sector hidroeléctrico hacerse cargo de impactos causados por otras actividades?, y por el otro, tal como se discutió en el punto anterior, ¿cómo se repartirían los impactos, y por ende sus soluciones, entre las distintas actividades?

Es importante destacar que el diagnóstico efectuado para el presente estudio indica que hay muchos tramos de ríos en Chile impactados por *hydropeaking*, que esencialmente están en estado hidromorfológico prístino, de no ser por tales fluctuaciones intradiarias. El intentar *"mitigar"* tales tramos con este tipo de medidas podría muy fácilmente resultar en impactos ambientales aún mayores.

Un último problema con las *"medidas in-situ"*, es que si bien pueden parecer más económicas, esto se debe solamente al hecho que suelen aplicarse sólo a tramos cortos, bastante menores que la longitud total impactada por las fluctuaciones. Por todos los motivos antes indicados, no se recomienda la aplicación de medidas de *"mitigación in-situ"* para el caso chileno.

Por otra parte, es importante destacar que el enfoque suizo no considera una medida más sistémica, como es el control distribuido de frecuencia, descrito en el presente informe. El repartir el control de frecuencia sobre los cientos de unidades que conforman el SIC sin lugar a dudas que ayudaría a minimizar las fluctuaciones aguas abajo de las pocas centrales de embalse que se usan hoy para estabilizar el sistema (Tabla 1.1).

Otra medida a la escala del sistema, sería fomentar el desarrollo de nuevas centrales hidroeléctricas dedicadas específicamente a la generación de punta, ya sea priorizando aquellas ubicaciones donde esto no causa impactos (por ejemplo, entre lagos), o bien construyendo centrales de bombeo. Éstas podrían entonces tomar parte o la totalidad de la generación de punta, o al menos

encargarse en mayor medida de las rampas, de modo de mitigar los impactos causados por las demás centrales hidroeléctricas del parque.

Una medida con un impacto similar, aplicable a la situación actual, sería actualizar los criterios de despacho del CDEC-SIC (descritos en el Acápito 1.3) de modo que, para el seguimiento de punta, se priorice a aquellas centrales ubicadas en lugares mejores para generar de punta, donde los impactos sean nulos o mínimos. En vez de considerar sólo los aspectos económicos y de seguridad del sistema, el listado de prelación incorporaría además una variable ambiental.

Finalmente, es importante volver a destacar que si bien el proceso suizo fomenta la aplicación de medidas constructivas para mitigar los impactos del *hydropeaking*, en particular el uso de piscinas de compensación, no permite los contra-embalses ubicados sobre el mismo cauce. En efecto, la construcción de tales obras sólo agregaría mayor desconexión en los sistemas fluviales, a la forma de barreras al paso de organismos y sedimentos. Como la LFSPA no está solamente enfocada a los impactos de la hidroelectricidad, sino que busca restituir el valor ecológico integral de los cursos de agua, los contra-embalses deben ser del tipo *off-line*, esto es, almacenar agua pero fuera del cauce principal.

#### 4.3.4 Costos comparativos de la mitigación

El enfoque de planificación suizo para mitigar los impactos “severos” del *hydropeaking* en todos los ríos de la Confederación Helvética, explicado en detalles en la Sección 4.3.2 del presente informe, indica que no es posible estimar los costos de las medidas en la Fase 1 del proceso. Recién a finales de la Fase 2, cuando ya se hayan cuantificado a cabalidad los impactos, y éstos hayan sido adjudicados a las distintas centrales, será posible plantear distintas alternativas, y compararlas en términos de su efectividad para atenuar las fluctuaciones, y sus respectivos costos.

Sobre la base de lo discutido en la Sección 4.3.3, y como ya se había indicado anteriormente, debe quedar en claro que la Fase 1 del proceso suizo es un análisis bastante detallado, que de aplicarse a Chile, probablemente significará un proceso de mediano a largo plazo. Además, como ya se ha destacado anteriormente, los costos de cada esquema de mitigación dependen sobremedida de las características de cada proyecto, tramo, y de los impactos adjudicables al proyecto, así como de otras variables de naturaleza altamente incierta, como la disponibilidad y valor de las tierras en torno a la casa de máquinas de la central, o bien la presencia cercana de un lago, embalse, o el mar.

Por todo lo anterior, esta discusión general respecto de los costos de mitigar los efectos de la generación de punta debe necesariamente mantenerse en un nivel muy preliminar.

En primer lugar, es importante separar los costos directos de la mitigación de las externalidades de estas medidas. En el caso de medidas constructivas, los costos directos comprenden ítemes como las tierras y estructuras necesarias para construir una piscina de compensación, o bien un túnel de vaciado hacia un algo cercano. Cuando se trata de medidas operacionales, guardan principalmente relación con la menor producción de energía, o bien con la generación de energía de menor valor, según sea la hora del día en que se inyecte a la red.

Las externalidades tienen que ver principalmente con los efectos que tienen las medidas de mitigación operacionales sobre el precio de la electricidad. Esto es un tema complejo, puesto que

debe analizarse a la escala del sistema entero. Olivares (2008) estudió la optimización de embalses con restricciones ambientales, y recientemente ha modelado los impactos que tendrían algunas medidas de mitigación del *hydropeaking* sobre los precios de la electricidad, para ver las relaciones costo/beneficio de distintas medidas de gestión ambiental (Olivares et al., 2015). Los resultados son alentadores, en el sentido que cambios apreciables en la operación, con evidentes impactos ambientales positivos, sólo redundarían en cambios muy menores en el precio de la electricidad.

El grupo de Ingeniería Hidráulica en la Escuela Politécnica Federal de Lausanne, Suiza, liderado por el Prof. Anton Schleiss (Heller et al., 2010; Heller y Schleiss, 2011; Bieri, 2012) tiene una serie de trabajos en que se comparan económicamente y ambientalmente medidas constructivas y operacionales. Concluyen que las restricciones operacionales pueden tener un fuerte impacto en la productividad de las centrales, al reducir su flexibilidad para seguir la demanda (la cual es justamente la gran contribución de la hidroelectricidad a los sistemas eléctricos). Las medidas constructivas, por su parte, tienen bajo impacto sobre la operación de una central, ya que se ubican a su salida. Por ello, no se ve afectada la productividad de la planta, pero los costos de construir y equipar contraembalses, túneles o canales pueden ser muy altos. A pesar de lo anterior, Schleiss (2009) indica que aunque las inversiones en estructuras puedan ser elevadas, las medidas constructivas son preferibles desde una perspectiva económica en comparación con las medidas operacionales, ya que éstas últimas causan pérdidas económicas continuadas.

## 4.4 Aceptación de las medidas de mitigación

El presente capítulo guarda relación directa con el Objetivo Específico 4 del estudio, en que se debe identificar el nivel de aceptación que tendrían, en general, distintas medidas de mitigación del *hydropeaking*, por parte de desarrolladores de proyectos hidroeléctricos.

### 4.4.1 Metodología

El presente estudio consideró la elaboración de un cuestionario de entrevista, con preguntas semi-estructuradas y de aplicación cara a cara, el cual se aplicó a los representantes de 10 instituciones vinculadas al desarrollo hidroeléctrico. La entrevista o conversación en profundidad tuvo por objetivo principal conocer las opiniones y experiencias de actores relevantes vinculados con el desarrollo del sector hidroeléctrico, en torno a la posible aplicación de medidas de mitigación de los efectos del *hydropeaking* en Chile.

La sistematización y posterior análisis de las entrevistas permitió, además, complementar algunas etapas previas del estudio, a saber: a) conocer el Estado del Arte en materia de generación hidroeléctrica de punta, y medidas específicas que se hayan aplicado en Chile para mitigar los efectos de las variaciones intradiarias de caudal, asociadas a la operación de punta de centrales hidroeléctricas; y b) indagar respecto de percepciones y grado de conocimiento acerca del proceso de generación hidroeléctrica de punta, como también sus consecuencias o impactos positivos y negativos.

La entrevista es una técnica cualitativa de recolección de información que consiste en una conversación entre el investigador y el entrevistado, basada en una pauta de preguntas. La entrevista supone una situación en que el entrevistado es portador de una perspectiva que será

manifestada en un diálogo con el entrevistador. Por ello, se intenta que el entrevistado hable libremente, para reproducir el discurso consciente o inconsciente que tiene esta persona. A través de las entrevistas, se pretende identificar las posiciones y conocer las opiniones de los desarrolladores de proyectos hidroeléctricos respecto del *hydropeaking*, sus posibles medidas de mitigación y su potencial implementación y/o aceptación en el contexto chileno.

Para abordar la aceptación de las medidas de mitigación por parte de desarrolladores de proyectos, se consideró: a) su percepción respecto del *hydropeaking*, b) las medidas de mitigación que han implementado en proyectos anteriores, y c) la aceptación de los desarrolladores a las distintas medidas de mitigación identificadas en el presente estudio.

#### 4.4.1.1 Estructura de la entrevista

Se elaboró un cuestionario de entrevista que consideró cada uno de los aspectos citados anteriormente. La entrevista o conversación en profundidad se realizó en tres etapas, que a continuación se describen:

- a) **Parte I, Introductoria:** Aquí se le explicó a cada entrevistado cuáles eran los objetivos y alcances de este estudio, relacionados con los efectos de la generación de punta y su potencial mitigación, además de mencionar la razón por la cual la persona fue seleccionada para participar del estudio. Además de indicar los fines para los que será utilizada la información obtenida, se le solicitó al entrevistado su autorización para grabar la conversación, exponiendo los motivos. Se explicó, finalmente, el rol del equipo investigador que ejecuta el estudio.
- b) **Parte II, Entrando en Materia:** En esta parte el entrevistador realizó una breve introducción respecto del sistema eléctrico chileno y la generación hidroeléctrica de punta, la cual enfatizó el espectro de medidas de mitigación levantado durante las fases anteriores del estudio. Luego, a través de una serie de preguntas, se buscó conocer la opinión del entrevistado sobre los siguientes aspectos:
  - Percepción de los desarrolladores respecto al *hydropeaking* y sus impactos
  - Medidas de mitigación del *hydropeaking* que hayan sido implementadas anteriormente por los desarrolladores
  - Aceptación de los desarrolladores de las distintas medidas de mitigación del *hydropeaking* identificadas en el estudio
- c) **Parte III, Finalizando la Entrevista:** En esta parte el entrevistador efectuó una síntesis de los temas conversados, destacando aquellos aspectos que consideró más relevantes, prioritarios o jerárquicos, con el objetivo de cotejar la opinión del entrevistado y, de este modo, conocer sus prioridades e ideas principales. Se reiteró el uso que se dará a la información, destacando la entrevista como un espacio de diálogo y participación de actores sociales.

#### 4.4.1.2 Criterios de selección de actores

En paralelo, se seleccionaron 10 instituciones a consultar, de acuerdo a su contribución esperada considerando los objetivos del estudio. El proceso de selección consideró al operador del sistema, a desarrolladores y operadores de proyectos hidroeléctricos, así como a asociaciones gremiales,

con presencia en la zona centro-sur del territorio nacional. Sus opiniones reflejan experiencias acumuladas, basadas en procesos y situaciones reales de las cuales han sido partícipes y observadores, en este caso la generación hidroeléctrica de punta y la aceptación e implementación de medidas de mitigación

Con el grupo de personas seleccionadas y luego entrevistadas, se buscaba más bien lograr una dispersión de puntos de vista personales, que el consenso. Específicamente en el plano ambiental, la entrevista a actores seleccionados permite adquirir información sobre las preocupaciones y posiciones de las personas e instituciones respecto de un proyecto o iniciativa, en este caso la generación hidroeléctrica de punta y la aceptación y potencial implementación de medidas de mitigación al *hydropeaking*.

Luego que la nómina de entidades fuera validada por la Contraparte Técnica, se tomó contacto directo con sus representantes, para acordar detalles como quién sería entrevistado(a), así como la fecha y lugar. Las entrevistas fueron realizadas íntegramente durante el mes de Noviembre de 2015, en dependencias de cada una de las instituciones seleccionadas, en la ciudad de Santiago.

#### 4.4.2 Aceptación de las medidas de mitigación: Resultados

Se efectuaron 10 entrevistas, las cuales se encuentran sistematizadas en las Tablas 4.2 a la 4.4 según: a) la percepción de las entidades entrevistadas respecto al *hydropeaking*; b) medidas de mitigación del *hydropeaking* implementadas por las entidades, y c) aceptación por parte de las entidades de las distintas medidas de mitigación del *hydropeaking* identificadas en el estudio.



Tabla 4.2 Percepción de de las entidades respecto al *hydropeaking*

Entrevistado	Ideas Fuerza
Entidad 1	<p>1.- El operador del sistema coordina en base a dos principios contenidos en la Ley Eléctrica, que son la seguridad del sistema y la minimización económica de la operación del sistema.</p> <p>2.- Cuando una nueva central hidroeléctrica se incorpora al sistema interconectado, debe informar sus restricciones operacionales, y el operador del sistema las maniobra de acuerdo a esas condiciones.</p> <p>3.- El aumento de la penetración de las energías renovables no convencionales (solar, eólica) depende de la capacidad de regulación (respaldo) que entregan las centrales hidroeléctricas.</p> <p>4.- Las variaciones de caudal, producto del control primario, son poco relevantes en comparación con el caso del control secundario o de toma de carga por seguimiento de punta, o cuando hay falla.</p> <p>5.- Esta entidad internalizaría una nueva norma, dado que tiene una función que está dada por Ley.</p>
Entidad 2	<p>1.- Según el programa de monitoreo (que lleva 15 años) el <i>hydropeaking</i> no ha afectado al sistema biológico del río (régimen sedimentológico, fauna íctica), pero sí al sistema antrópico.</p> <p>2.- El concepto de <i>hydropeaking</i> no está interiorizado por la empresa, pero sí se conocen sus efectos, especialmente sobre el sistema antrópico.</p> <p>3.- La legislación se encarga sólo de asegurar el cumplimiento del caudal ecológico del río, pero no los efectos de las variaciones de caudal.</p> <p>4.- Las nuevas centrales que se construyan deben considerar medidas de mitigación desde el inicio del proyecto, para evitar medidas reactivas y compensativas.</p>
Entidad 3	<p>1.- Los efectos del <i>hydropeaking</i> y las medidas de mitigación asociadas deben discutirse y definirse en las etapas tempranas de los proyectos, a través de participación ciudadana.</p> <p>2.- El operador del sistema utiliza procedimientos de operación rígidos, que no contribuyen a la disminución del <i>hydropeaking</i> y sus efectos.</p> <p>3.- Las medidas de mitigación deben definirse en el marco del SEIA.</p>
Entidad 4	<p>1.- La operación de las centrales hidroeléctricas está regida por el operador del sistema, ya que en base a las proyecciones de lluvia, determina cuánta agua deben acumular y liberar los embalses.</p> <p>2.- La generación hidroeléctrica no debe afectar a los usos preexistentes. Es por ello que las empresas deben mantener un diálogo permanente con los demás usuarios de la cuenca.</p> <p>3.- Las externalidades negativas del <i>hydropeaking</i> sobre los usuarios no son tan grandes, o en su defecto son mejorables, pero el daño al medioambiente es casi irreversible.</p>

Entidad 5	<p>1.- El operador del sistema es el ente más idóneo para definir qué centrales hidroeléctricas pueden hacer regulación de frecuencia, ya que esta regulación no es aplicable a todas las unidades.</p> <p>2.- Las centrales hidroeléctricas más adecuadas para hacer control primario de frecuencia son las de embalse, no obstante, deben considerarse otras características (por ejemplo: capacidad, potencia, rentabilidad), así como localización geográfica.</p> <p>3.- El control del <i>hydropeaking</i> pasa por mantener una correcta coordinación entre los distintos usuarios de la cuenca, lo que a su vez requiere de medidas estructurales (embalses de contrapunta).</p>
Entidad 6	<p>1.- El <i>hydropeaking</i> no es positivo para el propio propietario de la central, ni para el sistema, ni para los otros usuarios.</p> <p>2.- El problema de raíz del <i>hydropeaking</i> es a nivel eléctrico y no hidráulico.</p> <p>3.- El problema es sistémico y por tanto sus soluciones deberían también ser sistémicas.</p> <p>4.- El <i>hydropeaking</i> debe ser regulado por el Estado y sus costos asumidos por todos los usuarios del sistema, no sólo por los usuarios directos del río.</p>
Entidad 7	<p>1.- En Chile no existe capacidad de regulación de caudal intradiaria, ya que las condiciones geográficas (pendientes) no permiten tener grandes embalses, y a su vez, la construcción de embalses es costosa.</p> <p>2.- Las medidas de compensación no solucionan los problemas del <i>hydropeaking</i>; la solución pasa por un tema técnico y de operación, que debe evaluarse caso a caso.</p> <p>3.- El Código de Aguas no permite la regulación del agua, por tanto no se entiende que hayan usuarios a quienes se lo permitan.</p> <p>4.- Lo mejor para un inversor es tener las reglas claras desde un principio, y definirse técnicamente.</p>
Entidad 8	<p>1.- La autoridad debe diferenciar entre los efectos que son producto del <i>hydropeaking</i>, y los que se deben al régimen natural del río o a otras actividades. Para ello, debería existir una línea de base de toda la infraestructura asociada al río.</p> <p>2.- Las medidas de mitigación deben incorporarse en etapa de diseño del proyecto y previo proceso de participación ciudadana, donde los usuarios aguas abajo tuvieran las instancias e información necesaria para prever los efectos.</p>

Entidad 9	<p>1.- La capacidad de regulación es posible en centrales que cuentan con una capacidad de embalse relevante y que han sido diseñadas para optimizar sus ingresos económicos en base a la regulación, no así en el caso de las centrales de pasada.</p> <p>2.- Las externalidades del <i>hydropeaking</i> varían según el tipo de usuario. En el caso de los regantes, les afectan más cuando no cuentan con un sistema de toma e infraestructura adecuado.</p>
Entidad 10	<p>1.- La falta de regulación le ha dado mala reputación a la industria, afectando su competitividad.</p> <p>2.- Si hubiesen existido medidas de mitigación previas, o un marco regulatorio, las externalidades negativas <i>ex post</i> hubiesen sido menores y estarían disponibles a menores costos que si se aplicara en este momento.</p> <p>3.- Los casos de personas atrapadas en los cauces no tienen que ver con <i>hydropeaking</i>, sino que con eventos naturales o bien con la toma de carga, la cual debe ser gradual.</p> <p>4.- Normalmente, como procedimiento de operación, existe un procedimiento de toma de carga en el tiempo, que no genere un golpe de agua, para que el río se comporte como una crecida controlada.</p> <p>5.- Ante eventos climatológicos se implementa un procedimiento de comunicación no formal (entre autoridades, habitantes locales y empresa).</p>

Tabla 4.3 Medidas de mitigación del *hydropeaking* implementadas por las entidades

Entrevistado	Tipo de Medida Implementada <sup>1</sup>
Entidad 1	<p>1.- Esta entidad no posee las atribuciones ni la competencia para implementar o imponer la implementación de medidas mitigatorias; su función viene dada por Ley, y corresponde a coordinar la operación del sistema, bajo el marco regulatorio existente y las restricciones informadas por los propietarios de las centrales.</p> <p>2.- Cualquier medida de mitigación o restricción de operación que implemente esta entidad, debe ser impuesta por la vía regulatoria.</p>
Entidad 2	<p>1.- Medida estructural: Uso de embalse de contrapunta.</p> <p>2.- Medidas de mitigación de externalidades: Reposición de equipamiento turístico, folletos informativos acerca de las variaciones de caudal, y mayor acercamiento y colaboración con los distintos actores de la cuenca.</p>
Entidad 3	<p>1.- No menciona medidas de mitigación que apliquen actualmente</p>
Entidad 4	<p>1.- Medida estructural: Uso de embalses de contrapunta, acordados con los regantes.</p> <p>2.- Medida operacional: Acumulación de agua, esto es, restringir la operación de la central, de modo de asegurar la disponibilidad de agua durante la época de riego. El resto del año, se opera con mayor flexibilidad para mejorar la eficiencia técnico-económica del proyecto.</p> <p>3.- Medidas de compensación de externalidades: Acuerdos y negociaciones con los regantes.</p> <p>4.- Medidas de mitigación de externalidades: Sistemas de comunicación y de alarma, para alertar variaciones de caudal excepcionales (producto de la apertura de compuertas), son medidas de mitigación que están internalizadas por las empresas; no así para el caso de las variaciones intradiarias, ya que éstas ocurren de manera regular.</p>
Entidad 5	<p>1.- Medida estructural: El uso de contraembalses, que son el resultado de acuerdos de operación entre los usuarios y la empresa, son la medida estructural más efectiva para regular el <i>hydropeaking</i>.</p>
Entidad 6	<p>1.- Medida operacional (aunque también puede ser considerada como estructural y/o sistémica): Utilización de baterías, que permiten amortiguar y regularizar los pulsos. Por ejemplo, banco de baterías (BESS) en una central del SING.</p>
Entidad 7	<p>1.- No menciona medidas de mitigación que apliquen actualmente. Sin embargo, no manifiesta rechazo hacia ninguna de las medidas, salvo aquellas de compensación, ya que considera que éstas no apuntan a solucionar el</p>

<sup>1</sup>Corresponden a las siguientes categorías: Medidas Sistémicas de Mitigación (MSMH), Medidas Operacionales de Mitigación (MOMH), Medidas Estructurales de Mitigación (MEMH), Medidas de Mitigación de Externalidades (MMEH) y Medidas de Compensación de Externalidades (MCEH)

	problema de fondo.
Entidad 8	1.- Medida de mitigación de externalidades: Promoción de la tecnificación de los sistemas de riego (por ejemplo, mejoramiento de las bocatomas).
Entidad 9	1.- Medida de mitigación de externalidades: Medidas como mejoramiento de infraestructura de riego (bocatomas, sistemas de aforo y telemetría) para otorgar mayor certeza a los regantes.
Entidad 10	1.- Medida de mitigación de externalidades: A partir de impactos ambientales y sociales identificados, la empresa proyecta adoptar algunas medidas tales como comunicación con clubes de pesca y caza, distribución de folletos informativos, y colocación de letreros. 2.- Medida operacional: Hacer mejoras para evitar regulación de caudal en temporada de riego.

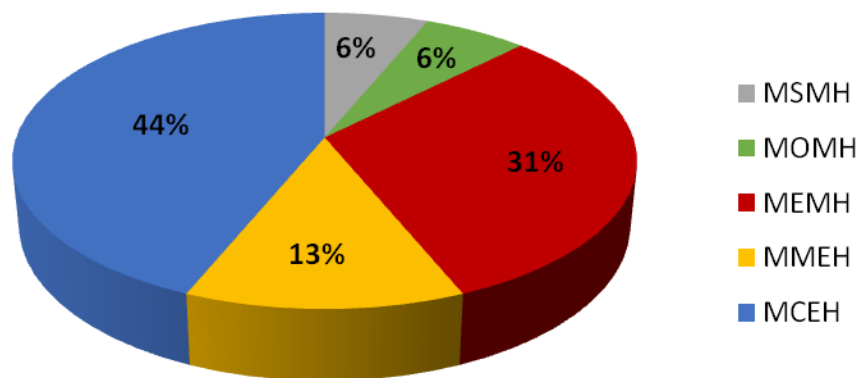


Figura 4.5. Medidas implementadas por los desarrolladores de proyectos.

Tabla 4.4 Aceptación por parte de las entidades de las medidas de mitigación del *hydropeaking* identificadas

Entrevistado	Tipo de Medida Identificada <sup>1</sup>	Grado o Nivel de Aceptación
Entidad 1	<p>1.- Medida sistémica: Ampliar la capacidad de regulación de frecuencia a unidades actualmente no consideradas (control distribuido).</p> <p>2.- Medidas operacionales: Suavizar la rampa y reducir la magnitud de la toma de carga.</p> <p>3. Medidas estructurales: Contraembalses y desvíos de caudales asociados al <i>hydropeaking</i>.</p>	<p>1.- Medida sistémica: Afectaría la operación económica del sistema, sin mejorar su seguridad</p> <p>2.- Medidas operacionales: Estas restricciones son informadas previamente por la central, siendo generalmente asociadas al riego. Esta entidad no las cuestiona, sino que las acepta e incorpora.</p> <p>3.- Medidas estructurales: esta entidad no tiene injerencia sobre tales medidas, puesto que vienen desde la etapa de construcción de la central.</p> <p>4.- Cualquier medida o norma implementada legalmente será internalizada por esta entidad.</p>
Entidad 2	<p>1.- Medidas estructurales</p> <p>2.- Medidas de mitigación y/o compensación de externalidades</p>	<p>1.- Considera indispensable aplicar medidas mitigatorias en el diseño de nuevos proyectos.</p> <p>2.- Respecto a la implementación de medidas de mitigación para proyectos en operación, manifiesta una complejidad mayor.</p> <p>3.- Medidas de mitigación y compensación de externalidades: Han aplicado este tipo de medidas, sin embargo, muestran preocupación ya que no solucionan la causa del problema.</p>
Entidad 3	<p>1.- Medida operacional: Suavizar la rampa de toma de carga.</p> <p>2.- Medidas estructurales.</p> <p>3.- Medidas de mitigación de externalidades, mediante participación ciudadana temprana (relacionamiento previo), para prever los impactos del <i>hydropeaking</i>.</p>	<p>1.- Medidas operacionales: Éstas atentan contra una característica esencial de las CHs, que es la regulación de frecuencia instantánea, lo cual afectaría la operación global del sistema.</p> <p>2.- Medidas estructurales: Deben incorporarse en los proyectos en operación.</p> <p>3.- Medidas de mitigación de externalidades: Deben incorporarse en los nuevos proyectos.</p>

Entidad 4	<p>1.- Medidas estructurales: Embalses de contrapunta.  2.- Medida de mitigación de externalidades, en particular una mejor coordinación con la comunidad.</p>	<p>1.- Medidas estructurales: Ya aplican esta medida, acordada previamente con los regantes, para regular pequeños volúmenes de agua.  2.- Medida de mitigación de externalidades: Es una medida efectiva y sin costo económico para la empresa.</p>
Entidad 5	<p>1.- Medidas sistémicas: control distribuido de frecuencia  2.- Medidas operacionales: Suavizar la rampa de toma de carga.  3.- Medidas estructurales: Contraembalses</p>	<p>1.- Medidas sistémicas: No es aplicable o es poco eficiente, dado que no todas las centrales cuentan con las condiciones para hacer CPF.  2.- Medidas operacionales: Implica limitar la capacidad de regulación de frecuencia de las centrales (hacerlas más lenta).  3.- Medidas estructurales: Son las más efectivas para regular el <i>hydropeaking</i>.</p>
Entidad 6	<p>1.- Medidas sistémicas.  2.- Medidas operacionales.  3.- Medida estructural: contraembalses  4.- Medidas de mitigación y/o compensación de las externalidades</p>	<p>1.- Medidas sistémicas: Es lo más adecuado, ya que el sistema debe asegurar que las centrales hagan <i>hydropeaking</i> con rampas y magnitudes adecuados, de modo de no generar impactos aguas abajo.  2.- Medidas operacionales: Son adecuadas, debiendo aplicarse en conjunto con las sistémicas  3.- Medida estructural: Es una medida casuística; puede implementarse siempre y cuando las condiciones y costos lo permitan.  4. Si bien estas medidas no debieran existir, ya que el <i>hydropeaking</i> es un problema sistémico, hay una que sí debe aplicarse: informar a los usuarios cuándo ocurren pulsos.</p>
Entidad 7	<p>1.- Medida operacional: Suavizar la rampa de toma de carga.</p>	<p>1.- Cualquier medida de mitigación es válida, siempre cuando se haga cargo de las externalidades.  2.- Medida operacional: Tiene que ser analizado caso a caso, dependiendo de los impactos generados aguas abajo, y no impuesta de manera genérica.</p>

Entidad 8	1.- Medidas operacionales: Suavizar la rampa de toma de carga.	1.- Las medidas de mitigación deben ser incorporadas en etapa de diseño del proyecto y previo proceso de participación ciudadana. 2.- Medidas operacionales: Esta medida aplica sólo en ríos localizados al sur del país (desde la región del Biobío), ya que la disponibilidad de agua es mayor.
Entidad 9	1.- Medida operacional: Reducir la magnitud de la toma de carga.	1.- Esta medida debe ser evaluada caso a caso, y temporada a temporada.
Entidad 10	1.- Medidas estructurales: Embalse de contrapunta con suficiente capacidad de regulación.	1.- Un marco regulatorio del <i>hydropeaking</i> contribuiría a mejorar la competitividad de la industria. 2.- Medidas estructurales: El contraembalse para regulación tiene el riesgo de generar expectativas en otros usuarios, particularmente regantes, por el hecho que puede ser considerada como infraestructura para satisfacer sus necesidades de riego. Esto puede generar conflictos entre usuarios.

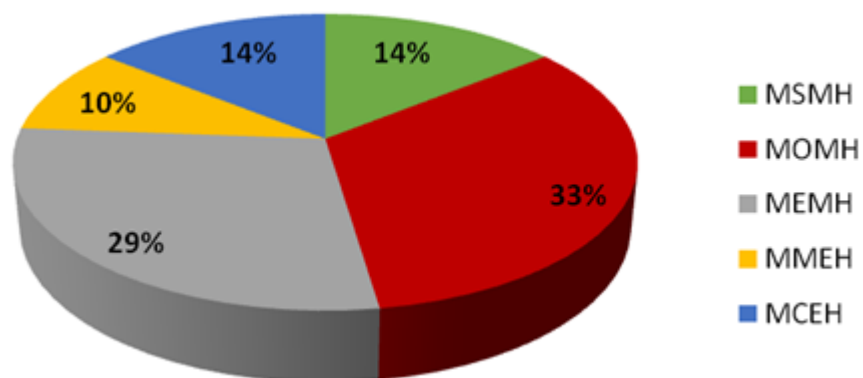


Figura 4.6. Medidas de mitigación sugeridas por los desarrolladores de proyectos



1. Ante la consulta sobre el nivel de aceptación por parte de la entidad entrevistada a la implementación de medidas sistémicas de mitigación del *hydropeaking* identificadas, ocho manifestaron su aceptación mientras que sólo dos plantearon inconvenientes (Figura 4.7). Ambas negativas argumentan principalmente la afectación de la operación técnico-económica actual del sistema.

#### Aceptación implementación de medidas sistémicas

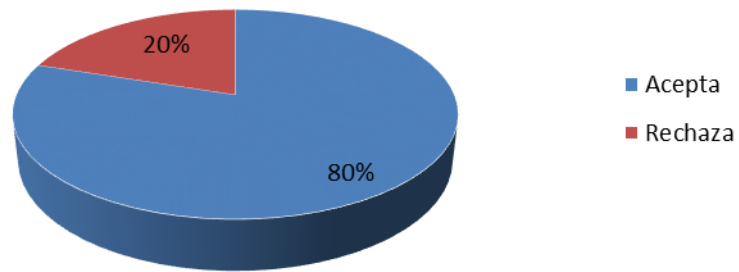


Figura 4.7. Aceptación de las medidas sistémicas de mitigación del *hydropeaking* identificadas en el presente estudio

2. De las 10 entidades consultadas (Figura 4.8), ocho manifestaron su aceptación a la implementación de medidas operacionales de mitigación del *hydropeaking*; una de ellas comentó que este tipo de medidas sería aplicable sólo a ríos de gran caudal como los encontrados en el sur del país. Dos entidades consultadas manifestaron rechazo, aclarando que en caso de ser implementadas debe hacerse un análisis caso a caso.

#### Aceptación implementación de medidas operacionales

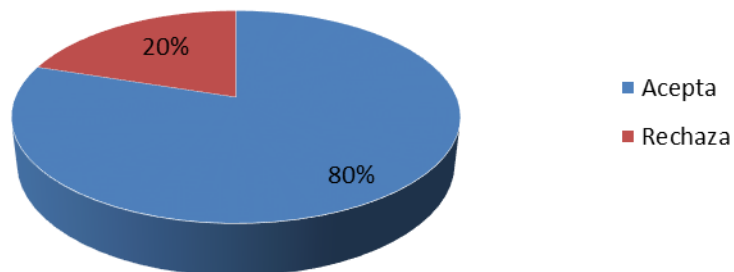


Figura 4.8. Aceptación de las medidas operacionales de mitigación del *hydropeaking* identificadas en el presente estudio

3. Respecto de la implementación de medidas estructurales de mitigación del *hydropeaking*, el 100% señala ser favorable a su aplicación a proyectos nuevos (Figura 4.9). Sin embargo, algunos levantan la discusión sobre la pertinencia de someter a dichas medidas a los proyectos en operación

#### Aceptación implementación de medidas estructurales

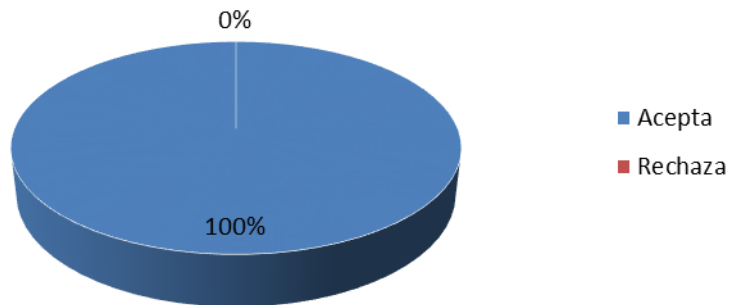


Figura 4.9. Nivel de aceptación de las medidas estructurales de mitigación del *hydropeaking* identificadas en este estudio

4. Consultados sobre el nivel de aceptación de medidas de mitigación y/o compensación de las externalidades del *hydropeaking*, nueve de las entidades entrevistadas manifestaron su aceptación y sólo una manifestó su desaprobación (Figura 4.10), esgrimiendo que no solucionan la causa del problema.

#### Aceptación implementación de medidas de externalidades

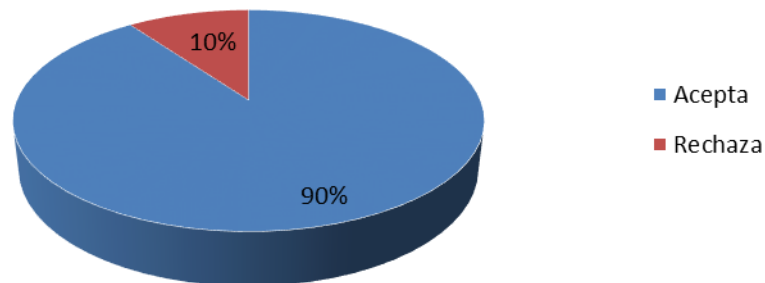


Figura 4.10. Aceptación de las medidas de mitigación y/o compensación de las externalidades del *hydropeaking* identificadas en el presente estudio

5. En cuanto a la percepción de las entidades entrevistadas respecto la implementación de un marco regulatorio para el *hydropeaking*, todos los entrevistados señalaron estar abiertos al establecimientos de regulaciones para el *hydropeaking* (Figura 4.11). Algunos de los entrevistados destacaron lo relevante que esto sería para la competitividad de la industria hidroeléctrica en general, pero en particular para un mejor establecimiento de las “reglas del juego” para nuevos actores y proyectos.

#### Aceptación implementación marco regulatorio para el Hydropeaking

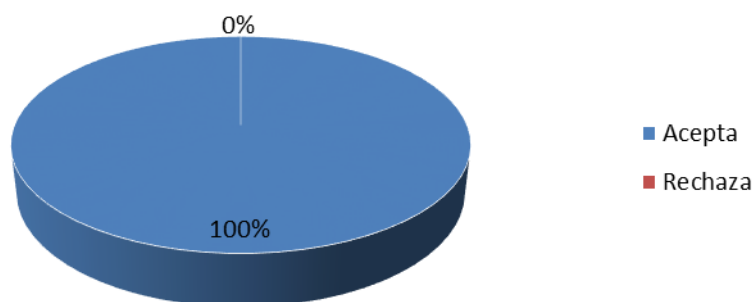


Figura 4.11. Percepción de las entidades entrevistadas respecto la implementación de un marco regulatorio para el *hydropeaking*

#### 4.4.3 Aceptación de las medidas de mitigación: Conclusiones

1. Entre los desarrolladores no se aprecia un concepto o idea común del *hydropeaking* o generación de punta y sus consecuencias ambientales. Para algunos de ellos es una forma de operación que no provoca impactos, mientras que para otros sí provoca efectos sobre los ríos y demás usuarios de los recursos hídricos y cuerpos de agua. En este último caso, incluso, se mencionan ejemplos de externalidades asociadas a esta forma de operación, así como distintas medidas que han desarrollado para mitigarlas, como también acciones compensatorias para usuarios afectados, aguas abajo de las CH que operan. Otros desarrolladores señalan, sobre la base de monitoreos propios, que la generación de punta no habría afectado al sistema físico-ecológico del río en el cual se ubica su CH, por ejemplo, el régimen sedimentológico, pero que sí ha tenido consecuencias sobre el sistema humano, razón por la cual han debido implementar medidas compensatorias y/o de mitigación de las externalidades. Se observa diversidad en las apreciaciones de las personas entrevistadas.
2. Algunos de los entrevistados señalan que la generación de punta es algo inevitable y que los desarrolladores no pueden ni deben hacerse cargo de impactos que no están o no estarían directamente relacionados con esta forma de operación de una central hidroeléctrica. Esto lo mencionan, particularmente, para el caso de potenciales impactos sobre usuarios e infraestructura de riego ubicada aguas abajo de puntos de restitución de caudales de centrales hidroeléctricas. Argumentan que dichos impactos sobre los regantes están más vinculados a variaciones naturales en los caudales de los ríos, y a lo obsoleto y precario de la infraestructura de riego, especialmente de las bocatomas o puntos de captación de agua para los canales. Pese a lo anterior, señalan que se han hecho cargo, de forma más o menos voluntaria, de tales impactos, asumiendo una externalidad que no les correspondería asumir. Desde esta

perspectiva, incluso, algunos indican que su actividad estaría subsidiando a los regantes, uno de los actores sociales con los que mayor nivel de conflictividad presentan algunas de las generadoras.

3. De acuerdo a la metodología propuesta en el presente estudio, se determinó que la gran mayoría de las centrales hidroeléctricas de Chile, tanto de embalse como de pasada, generan variaciones intra-diarias de caudales, asociadas a su forma de operación y a los requerimientos de energía del Sistema Interconectado Central (SIC). Los resultados del sondeo rápido, de las entrevistas a informantes calificados, como también a los desarrolladores, permiten concluir que, efectivamente, esta forma de operación genera impactos negativos aguas abajo de los puntos de restitución de las CHs. Sin embargo, y a partir de estas opiniones, no está clara la relación de causalidad con la forma de operación de las centrales, como tampoco los tramos de los ríos en los cuales dichos impactos se manifiestan. Los desarrolladores atribuyen los impactos a una multiplicidad de factores, pero no necesariamente a la operación de las CHs. A su vez, los usuarios consultados a través del sondeo rápido, atribuyen algunos impactos, por ejemplo brucas crecidas de ríos e inclusive accidentes de pescadores, a la operación de centrales ubicadas aguas arriba de los lugares en los cuales han identificado el impacto. Su percepción más genérica es que las CHs *sueltan* o liberan aguas sin previo aviso, y que las consecuencias de dicha acción se materializan incluso a bastante distancia de los puntos de restitución de los caudales.
4. Con los antecedentes disponibles no es posible asociar los impactos identificados por los usuarios con la forma de operación de las centrales, especialmente en los ríos estudiados con mayor detalle, como tampoco negar su existencia. Para objetivar este asunto se requieren estudios más detallados que consideren, entre otros aspectos, lo siguiente: información de caudales y sus variaciones, a partir de mediciones específicas y en ciertos tramos de los ríos analizados; evaluación de aspectos ecológicos, ambientales, económicos y culturales en dichos tramos o secciones de los cuerpos fluviales; un detallado registro de usuarios y usos del recurso hídrico aguas abajo de los puntos de restitución de caudales; análisis hidrológicos más específicos, como también de morfología y ecología fluvial. Lo anterior se fundamenta en el hecho de que los impactos asociados a la generación de punta o *hydropeaking* son sitio-específicos y que, por lo tanto, las medidas de mitigación, compensación u otras dependerán, también, de dicha condición. Esto fue manifestado por algunos de los desarrolladores.
5. Los resultados obtenidos a partir de la revisión bibliográfica, entrevistas a informantes calificados, entrevistas a desarrolladores y entrevistas y sondeos a otros usuarios de ríos potencialmente afectados por *hydropeaking*, indican que los impactos asociados a esta forma de operación de las CH son percibidos de manera diferenciada, asignándole cada grupo una importancia, origen o causalidad diferente. Es interesante comprobar que, aun cuando no se pueda verificar que un impacto específico tiene o tuvo su origen en la forma de operación de la CH, los tipos de efectos identificados por los usuarios entrevistados son bastante similares a los descritos en la literatura, por ejemplo, en materia de seguridad en sectores ribereños para pescadores y kayakistas, como también impactos económicos para regantes y emprendimientos turísticos.
6. En Chile no existen estudios específicos del *hydropeaking* y en los procedimientos de evaluación ambiental de proyectos de inversión, como son los Estudios de Impacto Ambiental

(EIA), sus efectos no han sido considerados como un aspecto o proceso relevante al momento de la evaluación. Pese a lo anterior, para algunos usuarios que comparten el uso de recursos hídricos con la generación de energía hidroeléctrica, sus actividades productivas han o habrían sido afectadas negativamente por la forma de operación de las CHs, es decir, por la generación de punta, llegando éstos incluso a interponer acciones judiciales contra empresas hidroeléctricas. Junto con ello, la institucionalidad pública ha reconocido el problema y manifestado, formalmente y frente a disputas legales entre usuarios, su posición:

“En la eventualidad que el titular desee realizar una operación que implique la regulación, o la acumulación durante algún período de las aguas captadas en las obras del proyecto hidroeléctrico, deberá tomar los resguardos correspondientes de manera de no afectar derechos de aprovechamiento de agua de terceros. Para esto, si corresponde, deberá proyectar las obras que sean necesarias, tales como *embalses de contrapunta* o de compensación, dispositivos u otro mecanismo equivalente, tal como la renuncia de los terceros, eventualmente afectados, a los perjuicios causados por la operación del proyecto.”

7. El párrafo anterior corresponde a parte del pronunciamiento técnico de la Dirección General de Aguas (DGA), frente a una solicitud de peritaje por parte de un tribunal y ante un recurso de amparo económico presentado por regantes que sienten afectados sus derechos de aprovechamiento de recursos hídricos por la forma de operación de una CH. Posteriormente, y como parte de la acción judicial antes mencionada, la Corte Suprema de Chile acogería el recurso de amparo económico, constatando cómo los derechos de los regantes habían sido afectados con esta forma de funcionamiento, es decir, acumulación de agua y posterior generación de punta. En uno de los considerandos del fallo se indica lo siguiente:

*"Que según aparece de los antecedentes antes referidos y los allegados a la causa, es posible colegir que se han afectado los derechos de aprovechamiento de aguas de los recurrentes en cuanto al caudal que se necesita para la distribución de las aguas de riego a la que tienen derechos constituidos los actores, en los ríos y afluentes que surten también a las hidroeléctricas recurridas. Lo anterior queda en evidencia a partir de lo que expresan los informes de la Dirección General de Aguas, autoridad administrativa de la materia, que la ha llevado a la aplicación de sanciones a las generadoras".*

8. Un aspecto a destacar es que la Dirección General de Aguas (DGA) reconoce que la forma de operación de la CH aludida en el recurso de amparo económico, provoca acumulación de agua y variaciones *intra-diarias* de caudal, lo anterior sobre la base de mediciones de caudales en estaciones de aforo, y propone, además, una serie de acciones tendientes a eliminar, mitigar o bien compensar los impactos provocados sobre terceros. Entre estas medidas, se menciona la construcción de embalses de *contrapunta*, considerada en este estudio como una medida de mitigación de tipo estructural.
9. Respecto a las medidas de mitigación identificadas por los desarrolladores, éstos mencionan, principalmente, las estructurales y operacionales. Dentro de las primeras destacan los embalses de contrapunta, mientras que reducir la magnitud de la toma de carga y suavizar la rampa son las medidas operacionales más frecuentemente citadas. Un aspecto a destacar es que algunas

medidas son más bien específicas para resolver disputas o conflictos con otros usuarios de la cuenca, por el uso oportuno de recursos hídricos, como es el caso de los regantes. Es así como se propone:

- Medidas operacionales (toma de carga y suavizado de rampa) para asegurar disponibilidad de agua para regantes en ciertos períodos del año. Esta medida supone negociación y acuerdo previo.
- Otra tipo de medida tiene que ver con el mejoramiento de la infraestructura de riego, específicamente, promover la tecnificación de los sistemas de riego y el mejoramiento de las bocatomas de los canales. En este caso, se estaría actuando para mitigar una externalidad.

10. En general se observa una disposición positiva de los desarrolladores frente a la adopción de medidas de mitigación u otras requeridas para eliminar, reducir y en algunos casos compensar los impactos de la generación de punta o *hydropeaking*. Existe consenso respecto a que, efectivamente, se producen impactos o efectos asociados a esta forma de operación de las centrales, con diferentes grados de intensidad y factores de causalidad. Al respecto, se identifican una serie de acciones o medidas necesarias de implementar:

- Las medidas de mitigación (esquemas de mitigación) u otras asociadas al *hydropeaking* deben ser discutidas en la fase temprana o de inicio de un proyecto hidroeléctrico. Estas medidas deben definirse en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y deben quedar, como compromiso obligatorio, debidamente consignadas en las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los Proyectos.
- En proyectos actualmente en operación, el control del *hydropeaking* pasa, necesariamente y en primer lugar, por mantener una correcta coordinación entre los diferentes usuarios de una cuenca y de sus recursos hídricos, con medidas tendientes a robustecer los sistemas de comunicación y alarma frente a variaciones excepcionales y bruscas de caudales. En segundo lugar, a través de un análisis más detallado, que se fundamente también en estudios más específicos, respecto al tipo de medida estructural u operacional requerida para cada proyecto y río en particular.

## 5. Conclusiones y recomendaciones

Dado que una de las características de los grandes sistemas eléctricos es que la energía no puede ser almacenada, el operador del sistema debe asegurar el equilibrio físico entre la oferta y la demanda energética en todo instante. La hidroelectricidad juega un rol fundamental en ello, debido a su habilidad para responder rápidamente a diferencias entre la demanda y el consumo, o a perturbaciones del sistema.

Por otra parte, la capacidad de generar de punta se traduce en una alteración a corto plazo del régimen hidrológico, aguas abajo de las centrales hidroeléctricas, conocida como *hydropeaking*, que conlleva una serie de impactos físico-ecológicos y socio-económicos, pudiendo afectar a las comunidades, a otros usuarios de los cuerpos de agua o sus recursos hídricos, y a los organismos.

En el presente estudio se ha hecho una revisión profunda de la literatura internacional en relación a la descripción y a los impactos del *hydropeaking*, tanto los físico-ecológicos como los socio-económicos, así como las posibles medidas de mitigación de tales impactos, a la luz del contexto chileno (Acápites 2.1 al 2.5). Luego, se ha propuesto una metodología novedosa, general, aplicable a la disponibilidad de información para Chile, de modo de documentar preliminarmente la ocurrencia del fenómeno de *hydropeaking* a la escala nacional (Secciones 3.2 al 3.4). En el Acápite 3.6 se ha sintetizado las potenciales externalidades del *hydropeaking* en Chile, dado el estado actual del conocimiento y los productos generados en el marco del estudio.

Aplicando entrevistas y sondeos de opinión, se ha levantado información de terreno, para tres cuencas chilenas sometidas a generación de punta, respecto de la percepción que tienen sus habitantes y los demás usuarios de los recursos hídricos y cuerpos de agua, en cuanto a la ocurrencia de pulsos de caudal por generación de punta, y sus efectos (Acápite 3.5).

Sobre la base de la revisión de literatura, y de la legislación internacional relativa a la mitigación del *hydropeaking*, específicamente de Suiza, se ha propuesto una tipología completa de medidas de mitigación, discutiendo detalladamente la aplicabilidad de distintos tipos de medidas al caso chileno (Secciones 4.1 a la 4.3).

Finalmente, sobre la base de entrevistas con entidades relacionadas con el desarrollo hidroeléctrico y la operación del sistema eléctrico nacional, se ha indagado respecto del nivel de aceptación que tendrían diversas medidas potenciales, para aminorar los efectos actuales y futuros del *hydropeaking* en Chile (Acápite 4.4).

En cada una de las instancias anteriores, se ha efectuado una síntesis de los aspectos más relevantes, que informan el debate acerca de cómo se podría minimizar los efectos negativos del *hydropeaking* en Chile.

A continuación, sintetizamos los resultados del estudio, a la luz de la experiencia del equipo investigador, para hacer distintas propuestas de cómo evitar, minimizar o mitigar los impactos debidos al *hydropeaking*.

En primer lugar, es importante notar que la implementación de medidas para mitigar los efectos de la generación de punta debe considerar soluciones sobre un rango de escalas, que pueden ir

desde el sistema eléctrico como un todo, hasta un tramo específico de río. Por otra parte, cualquier esquema de mitigación debe confrontar dos realidades muy distintas: por un lado, los impactos de las centrales existentes, en operación, y por otro, las centrales nuevas que se incorporarán a futuro al sistema eléctrico.

Una consideración central, es que al menos en el caso de los proyectos existentes, los cambios tendientes a mejorar la situación respecto de los efectos del *hydropeaking* tendrán que ser pagados por los consumidores de energía, tal como está ocurriendo en Suiza. Para los proyectos futuros, el marco regulatorio puede adecuarse de modo de desincentivar económicamente la instalación de centrales para generación de punta en ubicaciones que no sean las más adecuadas.

En el caso de las centrales futuras, algunos aspectos generales que deben guiar el debate respecto a un marco regulatorio para el *hydropeaking* son los siguientes:

- La forma más simple de evitar los impactos de la generación de punta es que se construyan centrales hidroeléctricas específicamente pensadas para efectuar *hydropeaking*, considerando las mejores ubicaciones (entre dos lagos, o entre un lago y el mar) y tecnologías (centrales de bombeo, turbinas que permitan flexibilidad en la operación, etc.) para ello.
- Se recomienda incorporar explícitamente los efectos de la operación, y en particular del *hydropeaking*, en la evaluación ambiental de las centrales hidroeléctricas. De igual manera, la operación planteada para los proyectos debe ser vinculante. De esta forma, se podría desincentivar la ocurrencia de pulsos de caudal en ecosistemas sensibles, fomentando las centrales de punta para aquellos lugares que, por sus condiciones naturales, presentan las mejores características.
- Cuando se desarrollen proyectos que generarán de punta en ríos, probablemente la mejor manera de evitar o moderar los impactos del *hydropeaking*, *a priori*, sea usando medidas constructivas, pensadas desde el diseño conceptual de la central. La mayor parte de los desarrolladores concuerda con esto, y es también el enfoque que se ha seguido en Suiza para adecuar las centrales existentes.
- Las decisiones respecto de hasta qué grado es permisible efectuar *hydropeaking* en sistemas fluviales deben considerar su nivel de conservación o calidad ambiental, así como su potencial ecológico.
- En el caso de las centrales de pasada, éstas por definición no debieran causar *hydropeaking*. Para asegurarse de ello, es necesario afinar los esquemas de estimación de los caudales afluentes, mejorando las mediciones y los modelos.

En el caso del parque de centrales existentes, se plantean las siguientes ideas para disminuir los impactos actuales por generación de punta:

- A la espera de proyectos nuevos dedicados íntegramente al *hydropeaking*, ampliar el control de frecuencia, tanto primario como secundario, a un número mayor de unidades



(control distribuido), de modo de bajar la presión a aquellos pocos ríos que en la actualidad llevan la mayor parte de la carga.

- Según concuerdan los desarrolladores, probablemente la mejor solución general, a priori, sea el adoptar medidas operacionales para mitigar los efectos del *hydropeaking*. Ésta ha sido también la solución adoptada preferentemente en Francia (pero no en Suiza, donde sólo se considera a petición de los titulares de las centrales).
- Puesto que los impactos de la generación de punta son específicos a cada proyecto y tramo de río, al igual que las medidas de mitigación, será necesario apoyar la determinación de medidas operacionales adecuadas, efectuando estudios hidromorfológicos y ecológicos en diversos ríos chilenos.
- Excepto en aquellos sistemas fluviales degradados desde larga data, no se recomienda el uso de medidas in-situ para mitigar los impactos del *hydropeaking*.
- Para las centrales de embalse, será necesario efectuar estudios de la potencial ocurrencia de *thermopeaking* estacional. En este caso, las soluciones prioritarias son constructivas, involucrando la construcción de bocatomas selectivas, a múltiples profundidades.
- Un nuevo marco regulatorio podría alterar los listados de prelación para el despacho de carga, incorporando variables ambientales en la toma de decisiones. Un esquema de este tipo puede considerar la estacionalidad, e incluso puede incorporar explícitamente la situación hidrológica en cada momento y cada río, de modo de minimizar los costos totales del sistema, incluyendo tanto los costos económicos de generar como las externalidades del *hydropeaking*.

Independientemente que se trate de centrales actualmente en operación o bien futuras, se debe considerar los siguientes aspectos:

- Es necesario contar con más y mejor información hidrológica en los ríos chilenos explotados para generación hidroeléctrica. La frecuencia de muestreo, que en la actualidad es horaria, debe aumentarse como mínimo a un paso de 10 minutos, siendo idealmente 5 minutos.
- Tanto las soluciones a los impactos actuales de la generación de punta, como los esquemas para evitar o minimizar los impactos de proyectos futuros, deben considerar la relevancia ecológica y socio-económica del tramo en cuestión, así como los demás impactos ambientales que en él ocurren.
- Es posible llevar a cabo estudios relativamente simples, que documenten los tiempos de viaje de los pulsos en distintos ríos chilenos, para un rango de caudales base y magnitud de las fluctuaciones, así como las tasas de cambio tanto de caudales como de cotas del agua.

- En cuencas con múltiples centrales (o proyectos de centrales), habrá interacciones entre los pulsos, que pueden causar un comportamiento así como efectos complejos. Ello indica que no basta con un enfoque proyecto a proyecto; también debe tenerse una visión de cuenca al estudiar los efectos del *hydropeaking*.
- En muchos ríos, será necesario buscar un balance entre minimizar los pulsos propiamente tal, de modo de lograr beneficios ecológicos y también socio-económicos, o bien sólo las externalidades de los pulsos, con el fin de lograr solamente beneficios respecto de los demás usos competitivos del agua o del cauce. Tal balance debiera depender del nivel de calidad ambiental o potencial ecológico del río.
- En todos los casos, es necesario entregar mayor y mejor información en tiempo real al público, y en particular a los demás usuarios, respecto de la ocurrencia, *timing* y magnitud de pulsos de *hydropeaking*. Ello debe descansar en una red fluviométrica más densa, con mayor frecuencia de muestreo, y en la aplicación de modelos hidráulicos.

Considerando el impulso dado por la Agenda Energética, así como el apoyo transversal manifestado por los desarrolladores de proyectos, se plantea que en Chile está en el momento oportuno para tomar decisiones que permitan minimizar los impactos de la generación de punta, tanto actuales como futuros.

## 6. Referencias

Bakken, T.H., R. Casas-Mulet, y M. Puffer. (2012). Environmental Impacts of Hydropower. Presentation shown at the Workshop on Hydropeaking, ETH Zürich, 19 June.

Baumann, P., e I. Klauss. (2003). Conséquences écologiques des éclusées – Étude bibliographique. Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEPF), Berna, Suiza.

Baumann, P., A. Kirchhofer, y U. Schälchli. (2012). Assainissement des éclusées – Planification Stratégique. Un module de l'aide à l'exécution Renaturation des eaux. Office Fédéral de l'Environnement, Berna, Suiza

Bonnard, L. (2013). The new Swiss legislation on water protection: overview and first successes. European Centre for River Restoration meeting, Vienna, Austria, September 11-13.  
[http://www.ecrr.org/Portals/27/Vortrag\\_LeslieBonnard\\_ERRC2013\\_130911.pdf](http://www.ecrr.org/Portals/27/Vortrag_LeslieBonnard_ERRC2013_130911.pdf)

Bieri, M. P. (2012). Operation of complex hydropower schemes and its impact on the flow regime in the downstream river system under changing scenarios (No. EPFL-BOOK-182405). EPFL-LCH.

Charmasson, J., y P. Zinke. (2011). Mitigation Measures against Hydropeaking Effects. Report TRA7192, Sintef Energy, Trondheim, Noruega.

Connor, E.J., y D.E. Pflug. (2004). Changes in the distribution and density of pink, chum, and chinook salmon spawning in the Upper Skagit River in response to flow management measures. *North American Journal of Fisheries Management*, 24:835–852.

Courret, D. (2014). Problématique des impacts de la gestion par éclusées des aménagements hydroélectriques sur les populations de poissons: caractérisation des régimes d'éclusées et du niveau de perturbation hydrologique. Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse. 19 Décembre 2014.

Cushman, R.M. (1985). Review of ecological effects of rapidly varying flows downstream from hydroelectric facilities. *North American Journal of Fisheries Management*, 5: 330-339.

EPIDOR (1999). Diagnostics hydrauliques et sociologiques des éclusées.

EPIDOR (2001). Rapport de Synthèse Destiné à la Préparation de l'Accord-Cadre sur la Limitation des Éclusées.

EULA-UdeC (2007). *Estudio de Impacto Ambiental "Central Hidroeléctrica San Pedro"*, elaborado para Colbún, S.A. Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción.

Faure, A. (2000). Étude de l'impact social des éclusées. EPIDOR.

Fournier, M., J. Mesquita, y A. Mangin (2010). Évaluation scientifique de l'impact de l'hydroélectricité dans le parc naturel régional des Pyrénées ariégeoises. Station d'Écologie Expérimentale du CNRS à Moulis, Saint-Girons, Francia.

García, A., K. Jorde, E. Habit, D. Caamaño, y O. Parra (2010). Downstream environmental effects of dam operations: changes in habitat quality for native fish species. *River Research and Applications* 27(3): 312-327.

Gibbins, C.N. y R.M. Acornley. (2000). Salmonid habitat modelling studies and their contribution to the development of an ecologically acceptable release policy for Kielder reservoir North-East England. *Regulated Rivers: Research and Management*, 16: 203-224.

Haas, J., Olivares, M. A., & Palma-Behnke, R. (2015). Grid-wide subdaily hydrologic alteration under massive wind power penetration in Chile. *Journal of environmental management*, 154, 183-189.

Halleraker, J.H., K. Alfredsen, J.V. Arnekleiv, H.P. Fjelstad, A. Harby, y S.J. Saltveit. 1999. Environmental impacts of hydropeaking, with emphasis on river Nidelva in Trondheim, Norway. Proceedings of the Conference "Optimum Use of Run-of-River Hydropower Schemes", Trondheim, 21-23 June.

Halleraker, J.H., H. Sundt, K.T. Alfredsen y G. Dangelmaier. (2007). Application of multiscale environmental flow methodologies as tools for optimized management of a Norwegian regulated national salmon watercourse. *River Research and Applications*, 23: 493-510.

Harby, A., y M. Noack. 2013. Rapid flow fluctuations and impacts on fish and the aquatic ecosystem. Capítulo 19 en: Maddock, I., A. Harby, P. Kemp, y P. Wood, *Ecohydraulics: An Integrated Approach*, Wiley Blackwell, Chichester, UK.

Harnish, R. A., Sharma, R., McMichael, G. A., Langshaw, R. B., & Pearsons, T. N. (2014). Effect of hydroelectric dam operations on the freshwater productivity of a Columbia River fall Chinook salmon population. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 71(4), 602-615.

Heim, G. (2013). Development of the Swiss Water Protection Legislation and its implementation. SedAlp Kick-off Meeting, Vienna, Austria, March 12.  
[http://www.sedalp.eu/download/dwd/events/SedAlp\\_KeyNote\\_Heim\\_20130312.pdf](http://www.sedalp.eu/download/dwd/events/SedAlp_KeyNote_Heim_20130312.pdf)

Heller, P., y A. Schleiss. (2011). Aménagements hydroélectriques fluviaux à buts multiples: résolution du marnage artificiel et conséquences sur les objectifs écologique, énergétique et social. *La Houille Blanche*, 6: 34-41.

Lauters, F. (1995). Impacts sur l'écosystème aquatique de la gestion par éclusées des ouvrages hydroélectriques – Étude de quelques cours d'eau et analyse des phénomènes mis en jeu. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse.

Meier, C.I. (1992a), Editor. "Análisis del Informe de Evaluación de Impactos Ambientales Relevantes del Proyecto Pangue", realizado por el Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, a solicitud de la Comisión de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente de la Honorable Cámara de Diputados de la República de Chile.

Meier, C.I. (1992b). Informe técnico sobre Recurso de Protección presentado por Fernando Dougnac R. Rol N° 8811. Ilustre Corte de Apelaciones de Santiago.

Meier, C.I. (1993a). Probables impactos de la central Pangué sobre el ambiente natural. pp. 347-383 en: Faranda F. y O. Parra (Eds.). "Evaluación Ecológica del Sistema Fluvial del Río Biobío". Monografía Científica EULA, Vol. 12, Universidad de Concepción.

Meier, C.I. (1993b). "Posibles impactos de la operación de Pangué sobre el uso de las aguas del Biobío para riego". Informe técnico presentado ante la Ilustre Corte de Apelaciones de Concepción.

Meier, C.I. (1995). A critical review of the Pangué Dam project EIA (Biobío River, Chile). *Proceedings of the 1st Annual Conference of the Water Resources Engineering Division*, San Antonio, Texas. American Society of Civil Engineers.

Meier, C.I. (2007). Editor: Comentarios sobre el Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrica Río Cuervo. Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Chile.

Meier, C.I., G. Azócar, E. Flores, P. Flores, y Ó. Link (2015). Estándares Internacionales de Sustentabilidad para la Hidroelectricidad y Posibilidades de Implementación en Chile. Informe Final. División de Desarrollo Sustentable, Ministerio de Energía, Santiago, Chile.

Ministerio de Energía (2014). *Agenda de Energía: Un Desafío País, Progreso para Todos*. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, Santiago, Chile, 128 pp.

Moog, O. (1993). Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts. *Regulated Rivers: Research and Management*, 8: 5-14.

Olivares, M.A. (2008). Optimal Hydropower Reservoir Operation with Environmental Requirements. Dissertation, University of California, Davis.

Olivares, M. A., Haas, J., Palma-Behnke, R., & Benavides, C. (2015). A framework to identify Pareto-efficient subdaily environmental flow constraints on hydropower reservoirs using a grid-wide power dispatch model. *Water Resources Research*.

Patterson, R. J., y K.E. Smokorowski. (2011), Assessing the benefit of flow constraints on the drifting invertebrate community of a regulated river. *River Research and Applications*, 27: 99–112.

Person, E. (2013). Impact of Hydropeaking on Fish and their Habitat. Thèse, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suiza.

Sabaton, C., F. Lauters, S. Valentin. (1995). Impact sur le milieu aquatique de la gestion par éclusées des usines hydroélectriques. Synthèse des résultats issus des travaux du groupe de recherche "éclusées" de 1990 à 1995 – recommandations pour l'expertise d'un site. HE-31/95.19.

Sauterleute, J.F., y J. Charmasson. (2014). A computational tool for the characterisation of rapid fluctuations in flow and stage in rivers caused by hydropeaking. *Environmental Modelling & Software*, 55: 266-278.

Steele, R.J., y K.E. Smokorowski. (2000). Review of literature related to the downstream ecological effects of hydroelectric power generation. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2334.

TNC (2013). The New Frontier of Hydropower Sustainability: Planning at the System Scale. Report prepared for the Inter-American Development Bank by The Nature Conservancy, Arlington, Virginia.

Travnicek, V.H., M.B. Bain y M.J. Maceina. (1995). Recovery of a warm water fish assemblage after the initiation of a minimum-flow release downstream from a hydroelectric dam. *Transactions of the American Fisheries Society*, 124:836-844.

Valentin, S. (1997). Effets écologiques des éclusées en rivière. Expérimentations et synthèse bibliographique. Cémagref Éditions.

Zolezzi, G., A. Siviglia, M. Toffolon, y B. Maiolini. (2011). Thermopeaking in alpine streams: event characterization and time scales. *Ecohydrology*, 4: 564-576.

## 7. Anexos

### Anexo 1: Detalles para cada central

#### Central 1

En este caso faltan sólo 66 datos horarios (de las 8760 horas que hay en el año). Se observa una fuerte estacionalidad en el patrón de generación de punta, con caudales turbinados y fluctuaciones mayores en los meses de primavera y verano, con deshielo. El caudal generado se mantiene casi constante en invierno, en un valor mínimo. Las fluctuaciones máximas, en verano, tienen una magnitud en torno a los 10 a 15 m<sup>3</sup>/s, con valores del caudal normalizado que no superan un umbral en torno a 2.

Se trata de una central de paso, sin capacidad de regulación según el CDEC-SIC, aunque los tamaños de las bocatomas, desarenadores y sobre todo de las cámaras de carga debieran permitir una alteración de los caudales a la escala horaria.

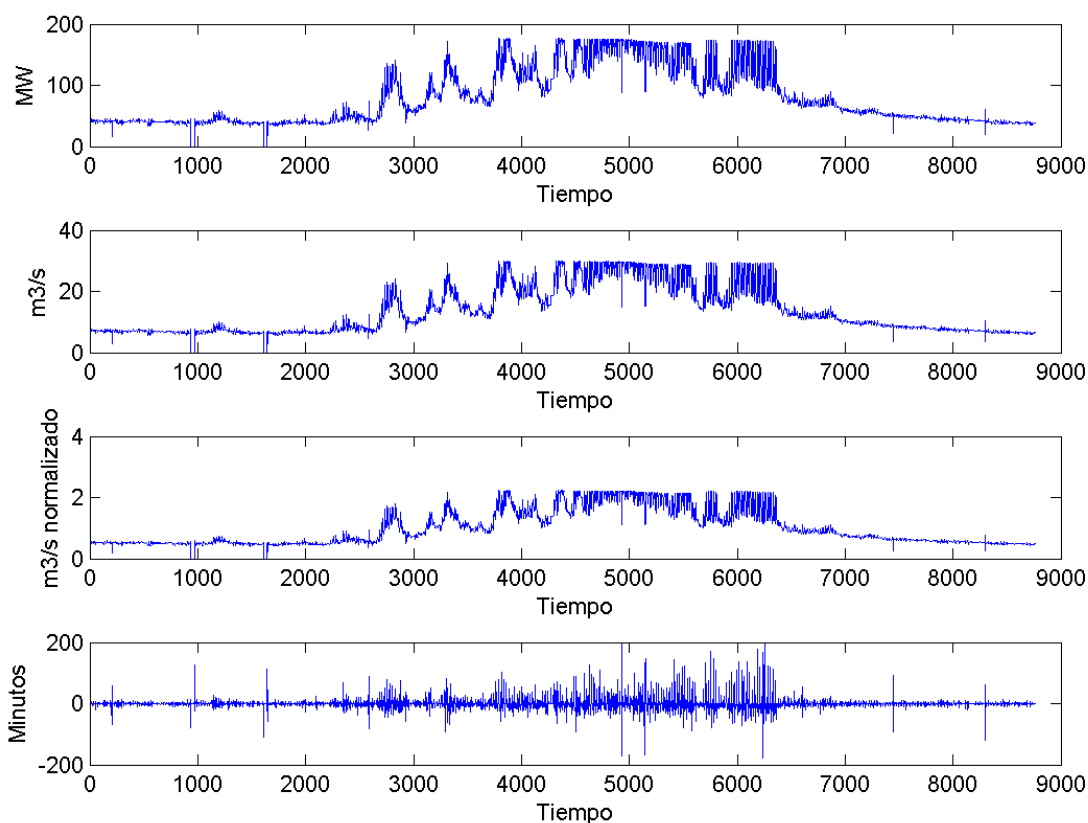


Figura A7.1 Comportamiento estimado en operación real de la Central 1

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Al aplicar COSH, se observan mejor algunos eventos con caudales anormalmente bajos, que posiblemente debieran eliminarse de la serie de datos. En cuanto a la duración, aproximadamente el 90% de los eventos con caudal alto, y también el 90% de los eventos con caudal bajo, duran 12 horas o menos.

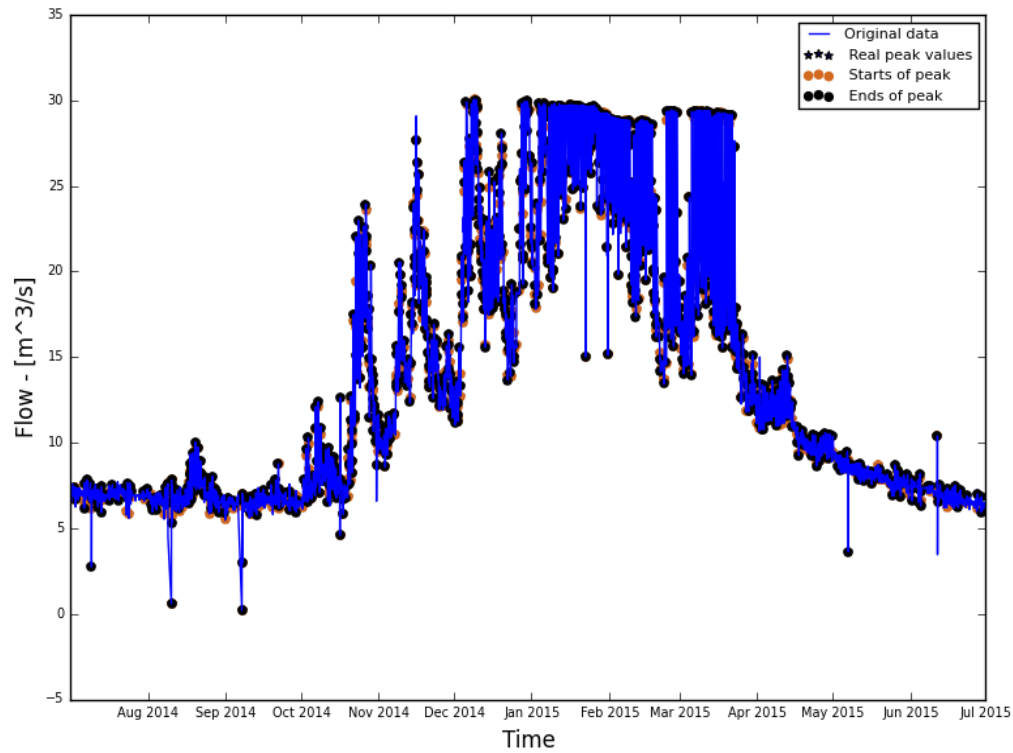


Figura A7.2 Serie de tiempo con eventos de *hydropeaking* detectados por COSH

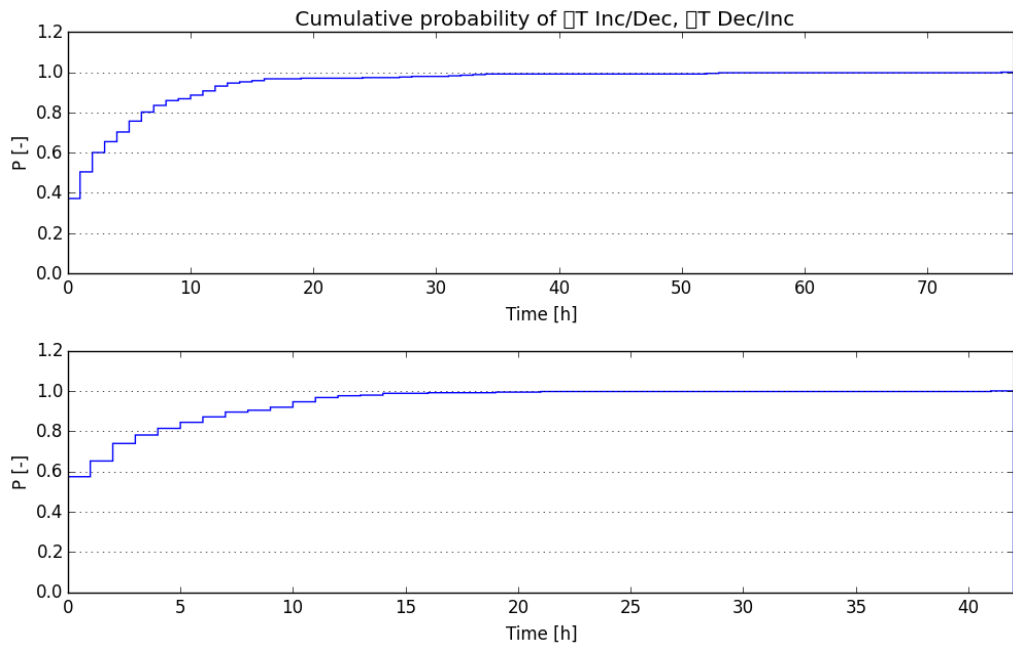


Figura A7.3 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el



principio de la siguiente subida

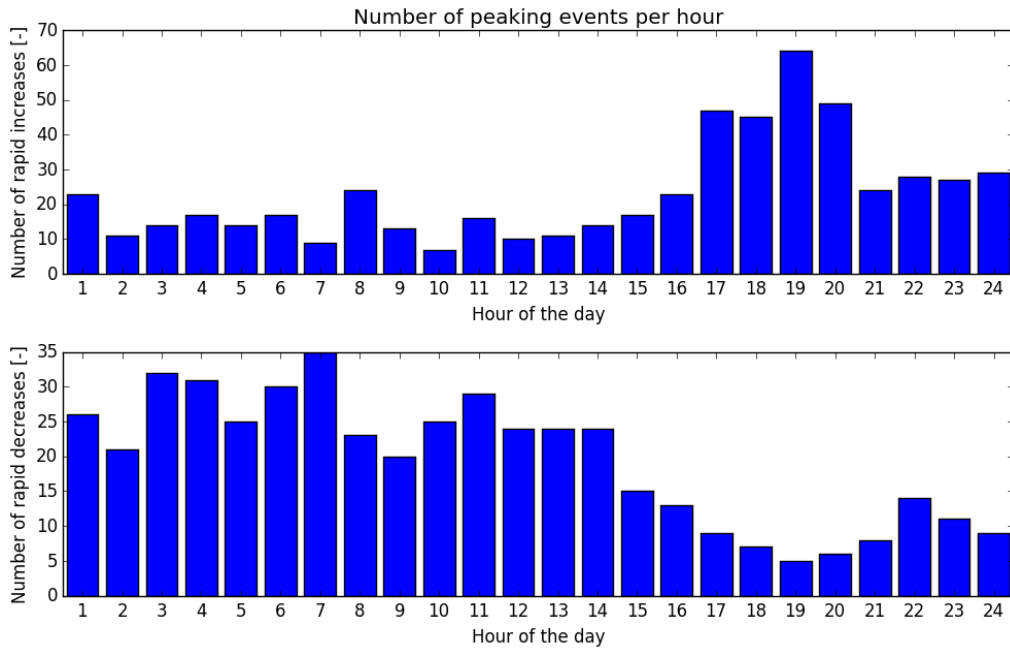


Figura A7.4 Distribución horaria de eventos de hydropeaking

a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

Las horas del día con mayor ocurrencia de eventos de subida rápida son entre las 17 y las 20; los decrementos ocurren uniformemente desde la medianoche hasta el mediodía. La mayor parte de los días del año se tiene ya sea uno o dos eventos, tanto de subida como de bajada, pero hay aún una proporción relevante de días con tres, o incluso cuatro eventos de *peaking*.

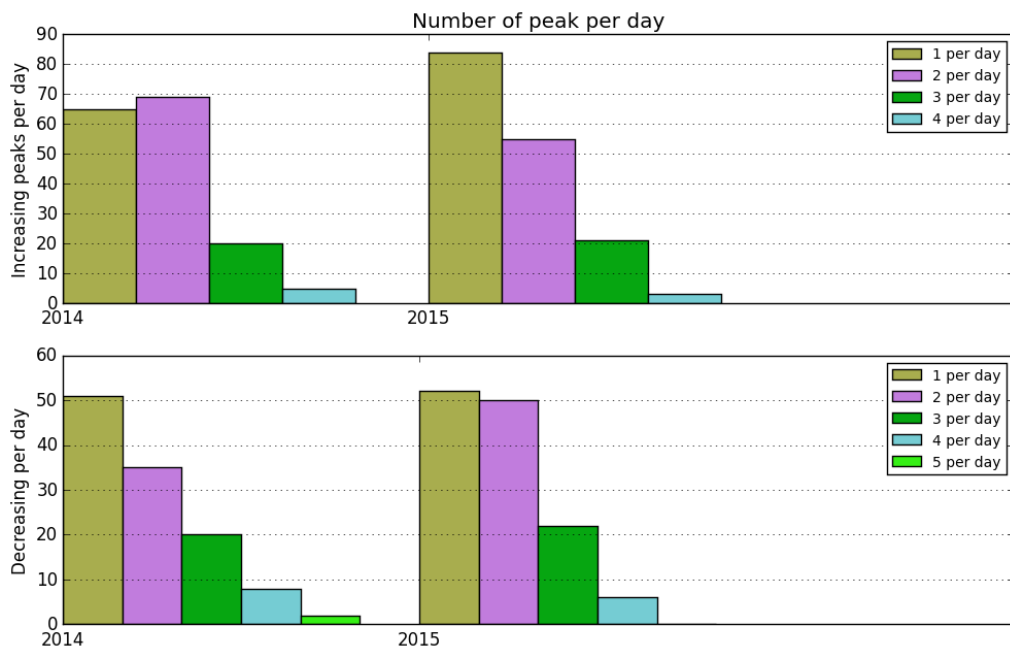


Figura A7.5 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

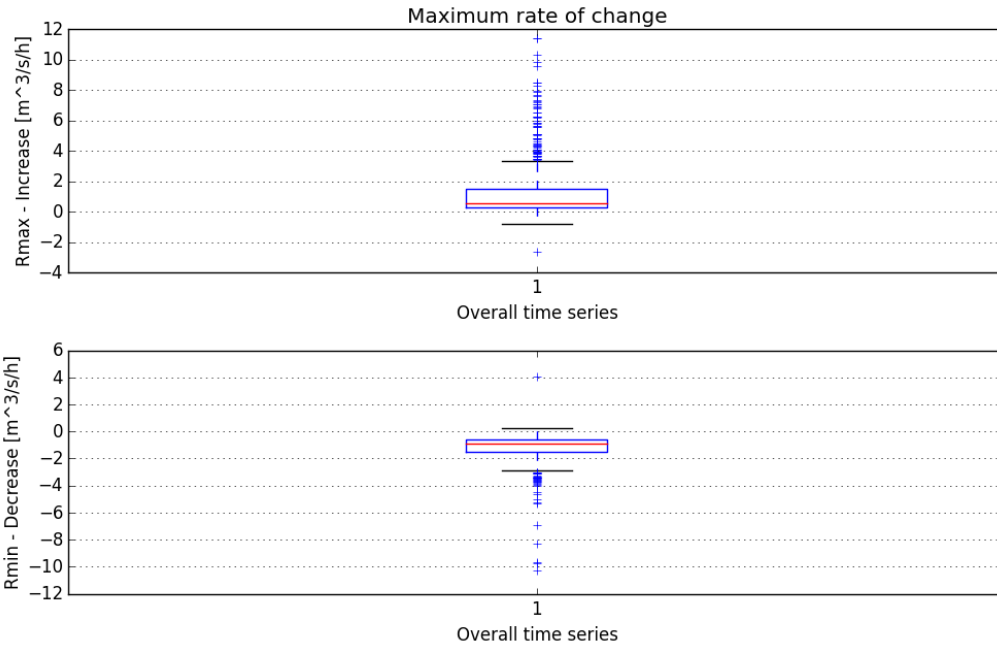


Figura A7.6 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

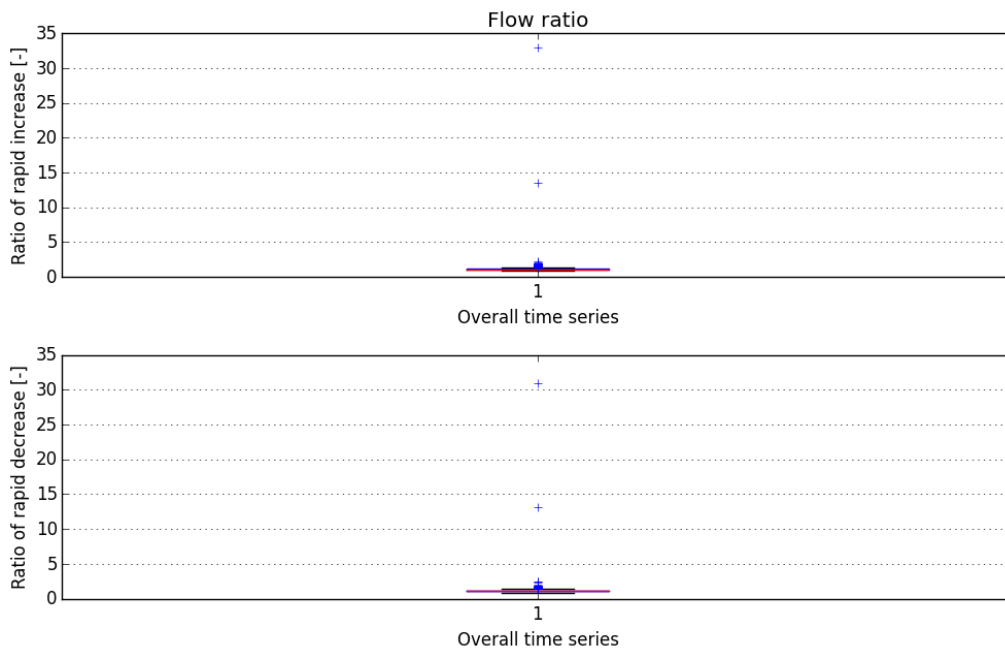


Figura A7.7 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 2

Faltan 306 datos horarios en todo el año.

Se observa pulsos durante casi todo el año, con excepción de los meses con caudales mínimos, a fines del estiaje, en que se generó con caudal casi constante. Se trata de una central de embalse, pero que sólo tiene capacidad de regulación intradiaria.

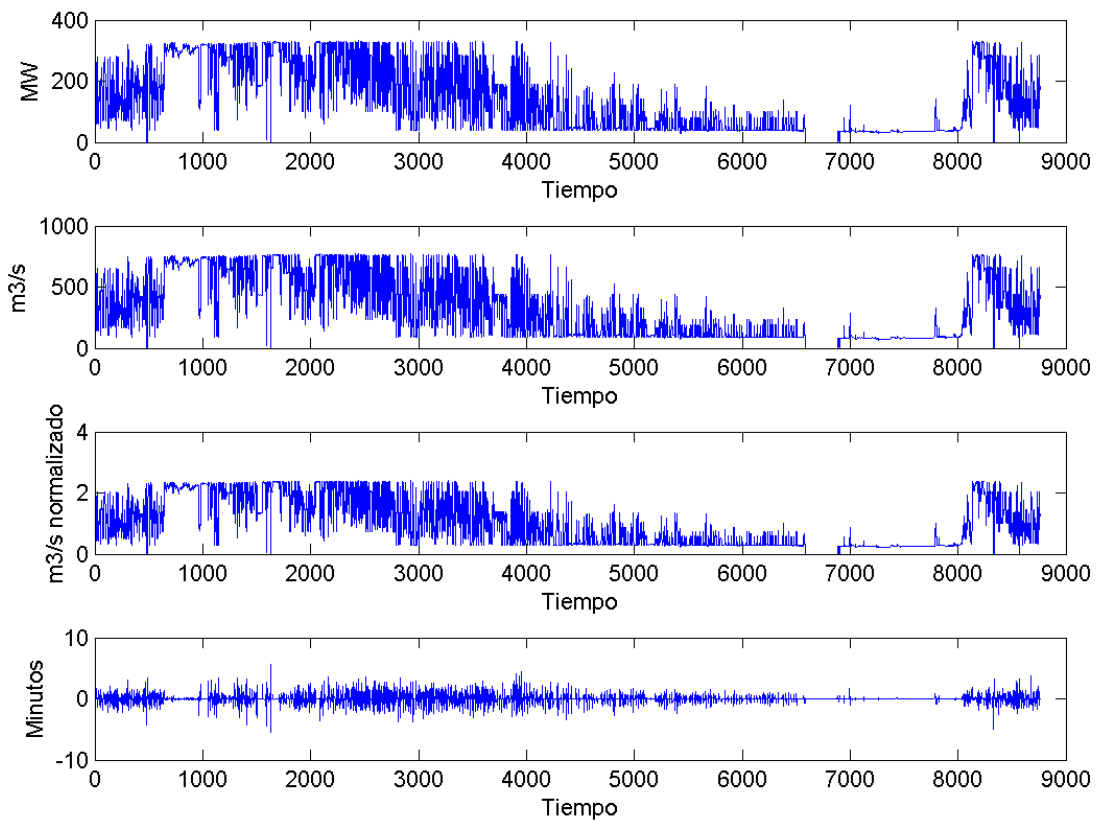


Figura A7.8 Comportamiento estimado en operación real de la Central 2

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

En este caso, las fluctuaciones son marcadas, alcanzando diferencias cercanas a los 700 m<sup>3</sup>/s en el período invernal y de primavera, para luego disminuir a rangos en torno a los 100 a 200 m<sup>3</sup>/s en verano.

En lo que respecta a las duraciones, el percentil 90% para los períodos de caudales altos se alcanzan para una duración menor a 10 h, mientras que está en torno a las 15 h para los caudales bajos. Esto significa que las bajas duran significativamente más que las altas.

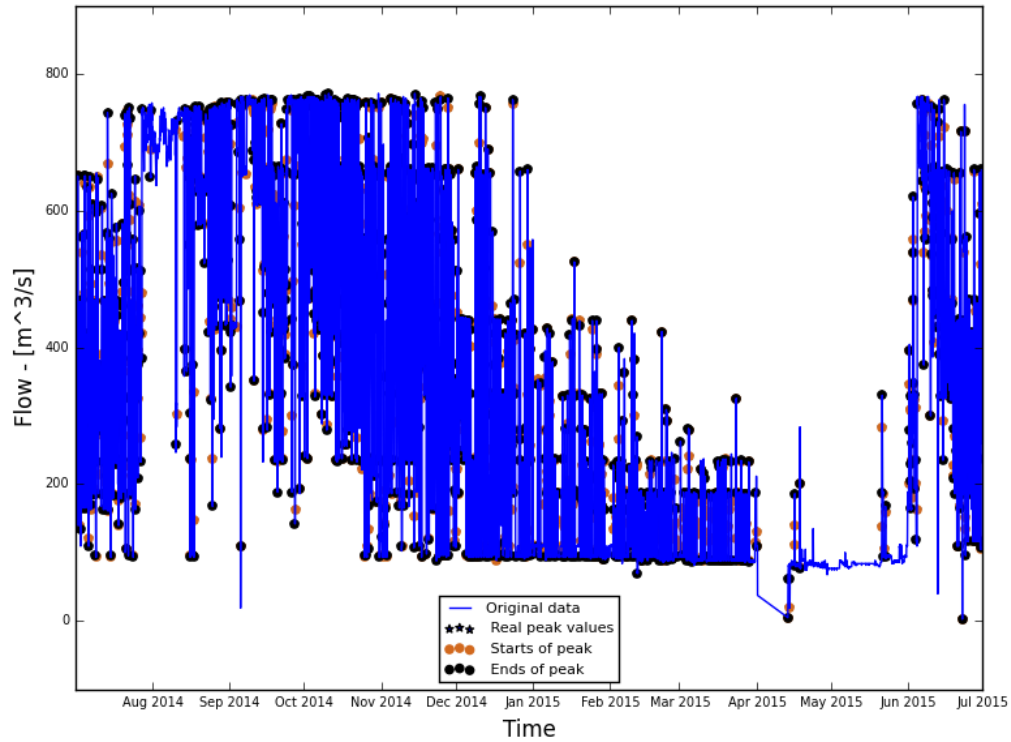


Figura A7.9 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

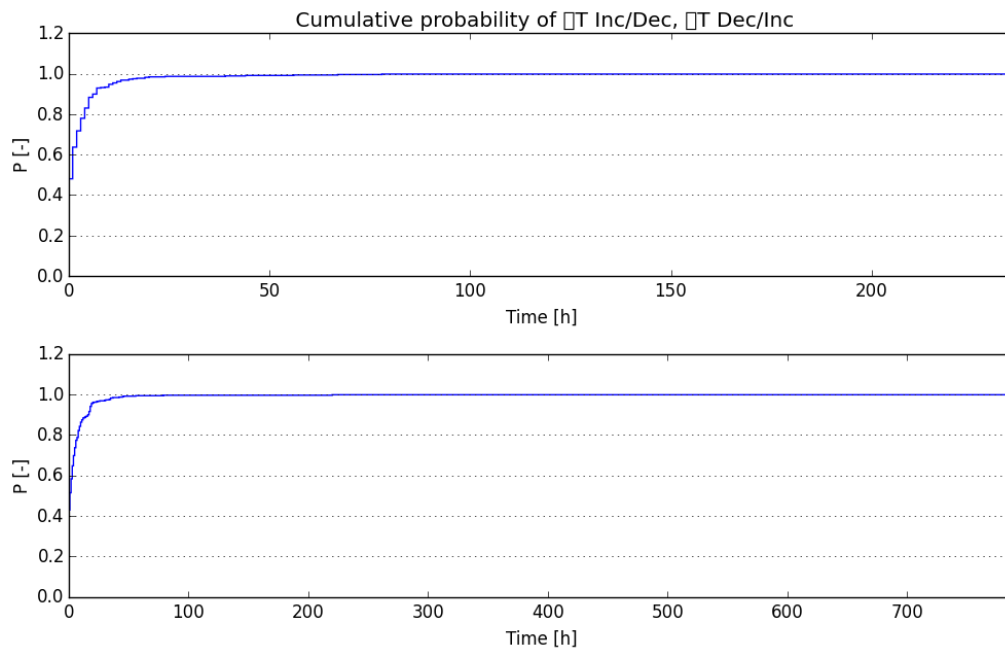


Figura A7.10 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

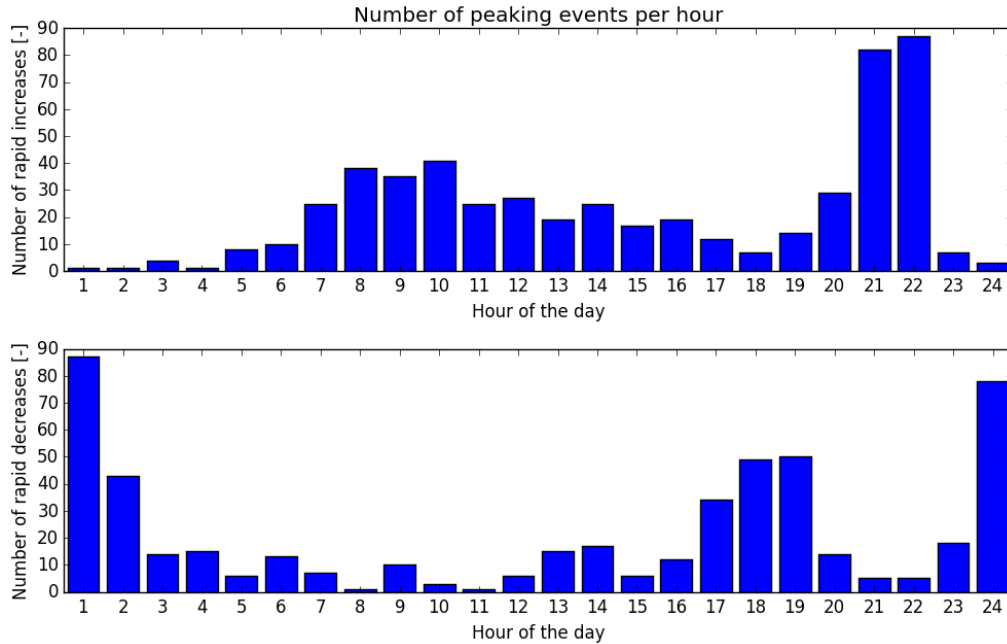


Figura A7.11 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

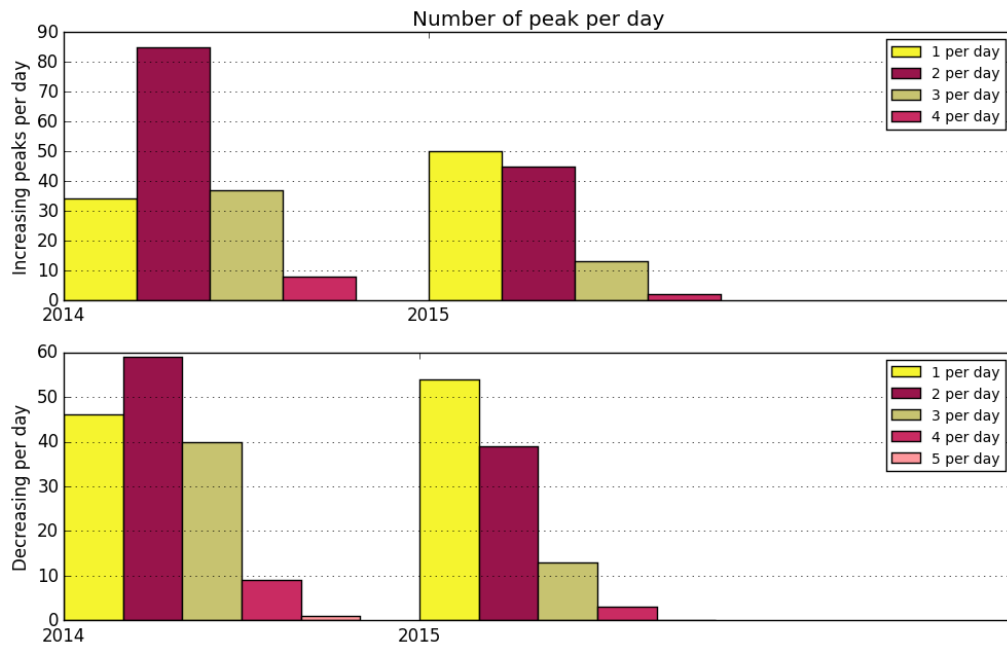


Figura A7.12 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida tienen una distribución temporal bimodal, bien marcada, con una frecuencia alta en torno a las 10 a 11 de la mañana, más o menos 4 horas, y un pulso claro entre las 20 y las 22. Las bajadas ocurren a su vez en torno a la medianoche, con un pulso secundario entre las 17 y las 20. La mayor parte de los días se tienen dos eventos de subida, y uno o dos de bajada.

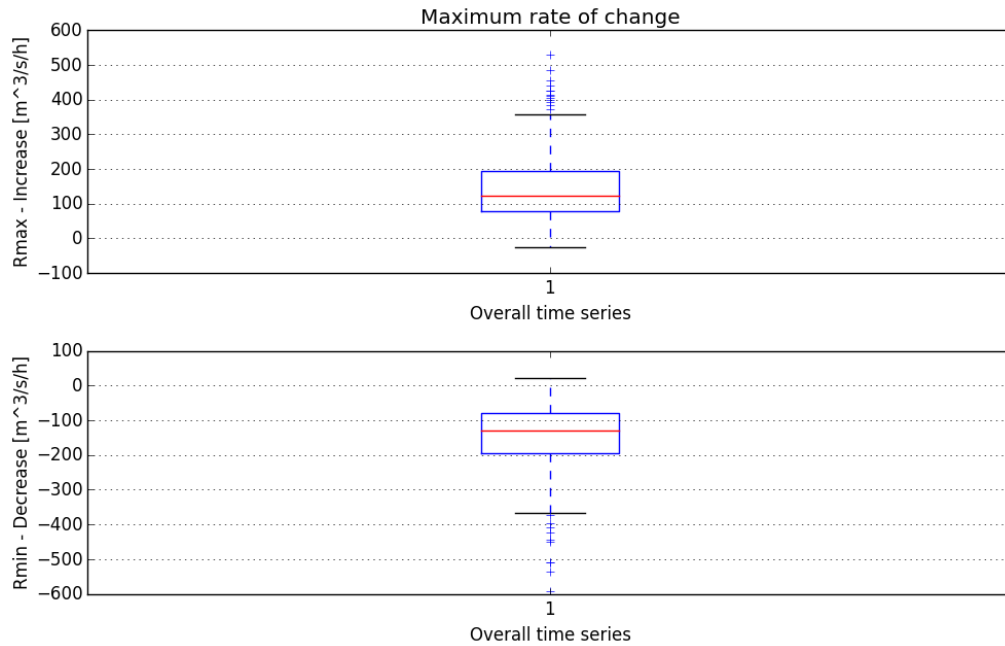


Figura A7.13 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

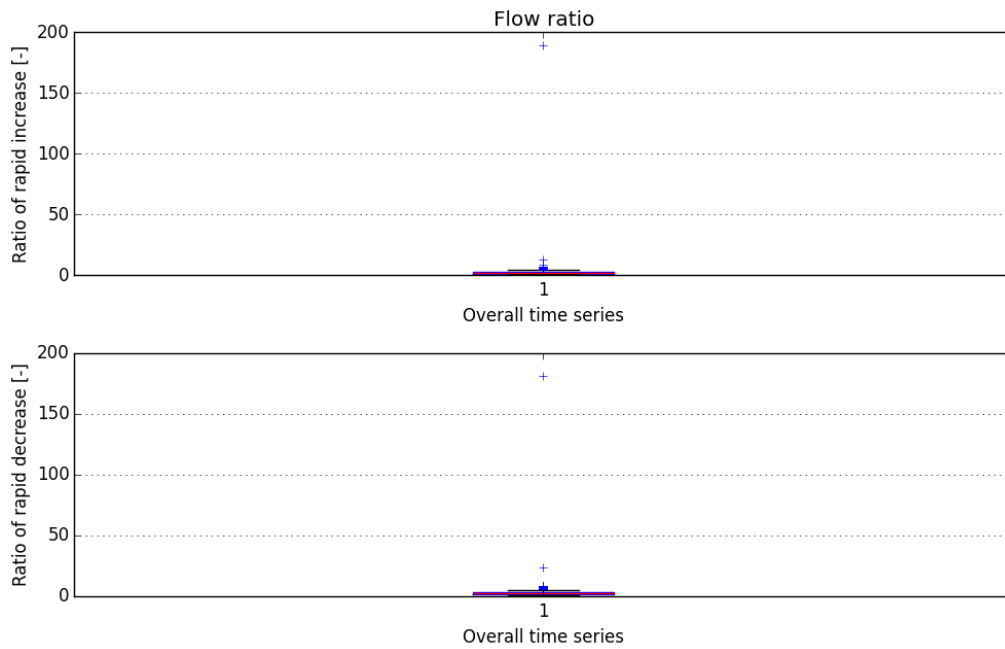


Figura A7.14 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 3

En este caso sólo falta un dato, por lo que la serie puede considerarse completa, para todos los fines prácticos.

Nuevamente en este caso hay un claro efecto hidrológico de la generación de punta. Sin embargo, se observa varios meses en que no se efectuó *hydropeaking* de ningún tipo, generando con caudales casi constantes. El cambio parece demasiado brusco como para deberse a consideraciones estacionales.

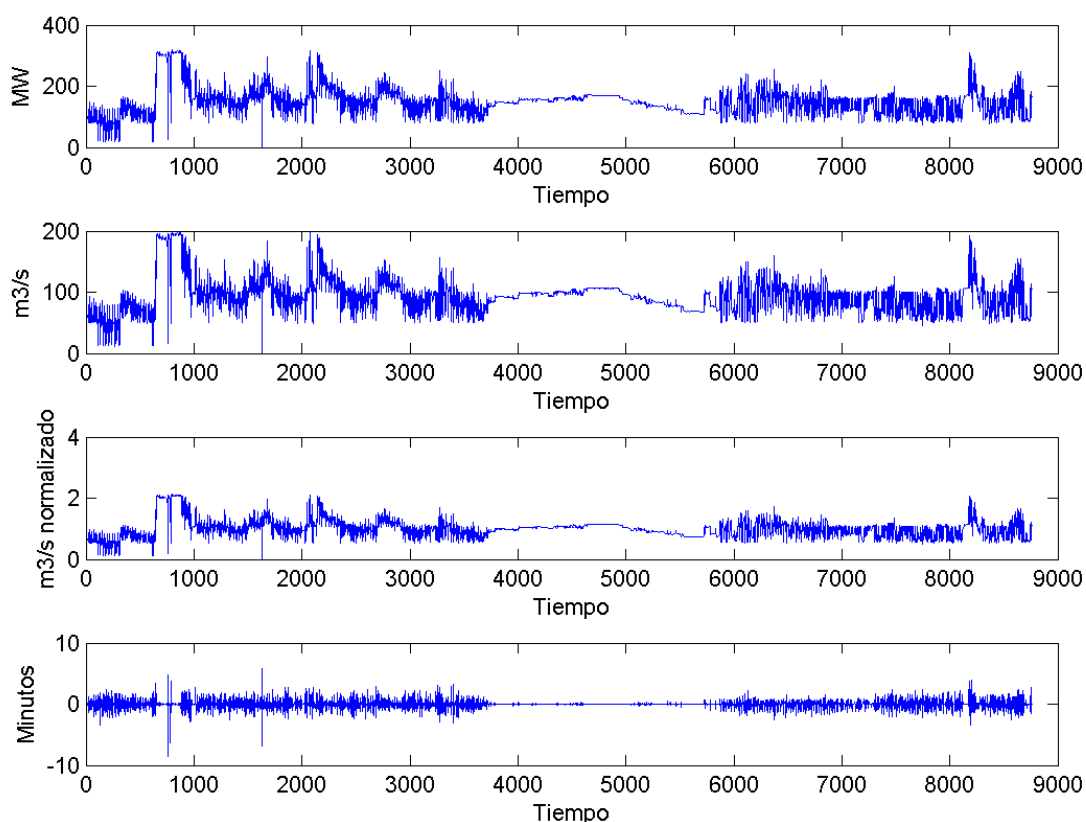


Figura A7.15 Comportamiento estimado en operación real de la Central 3  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El percentil 90% de las duraciones de pulsos altos está en torno a las 5 horas, mientras que los pulsos bajos (los valles) duran mucho más.

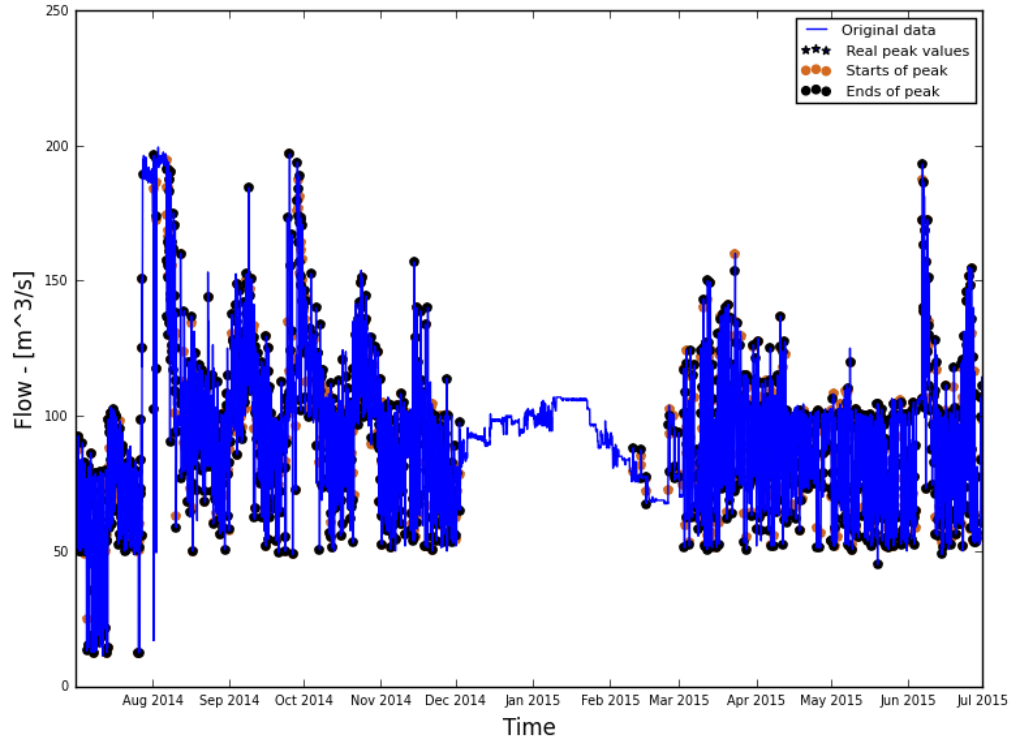


Figura A7.16 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

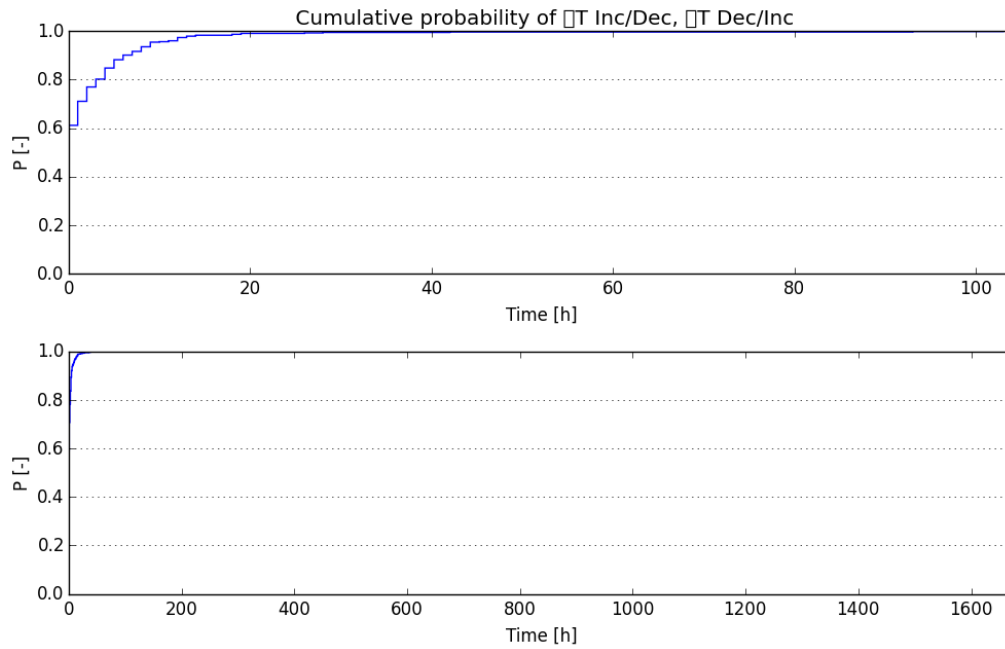


Figura A7.17 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



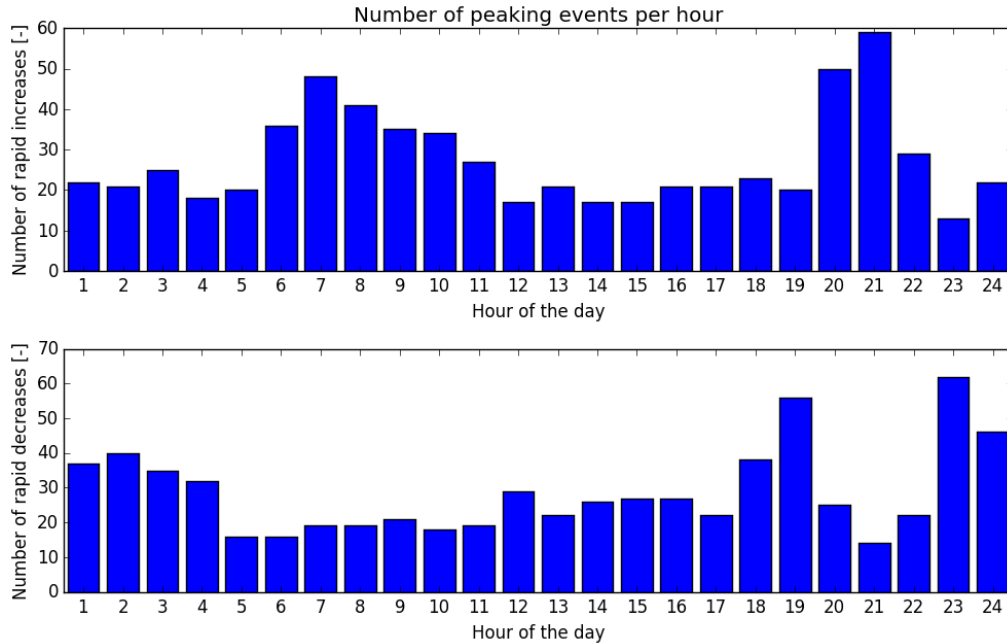


Figura A7.18 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

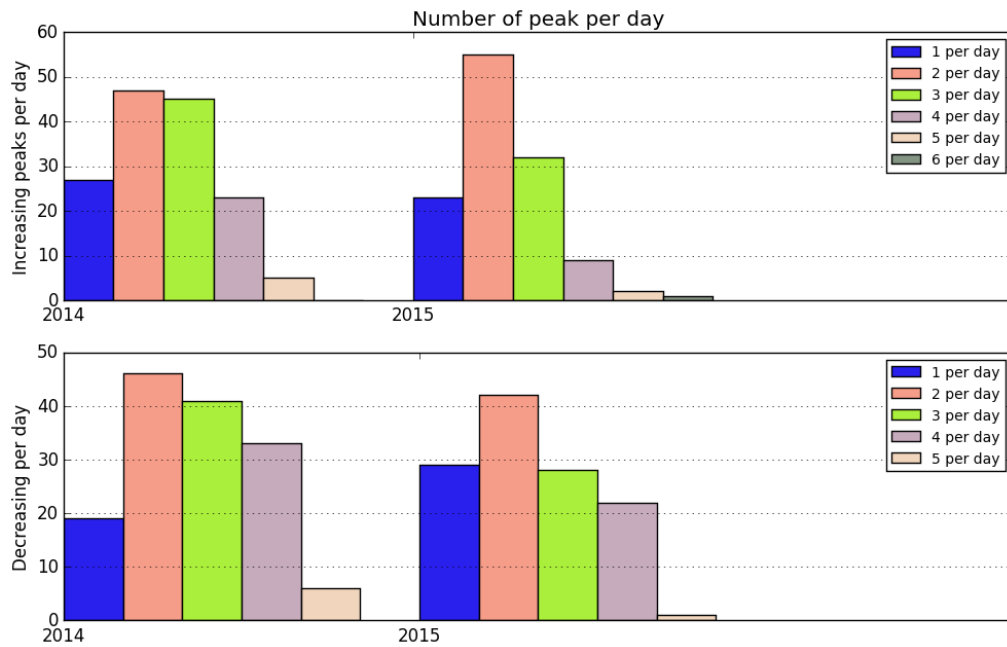


Figura A7.19 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida rápida ocurren en torno a las 7 a 8 de la mañana, y también entre las 20 y las 22, mientras que los de bajada se distribuyen de manera más uniforme. Típicamente hay dos o tres eventos de subida y de bajada, cada día.

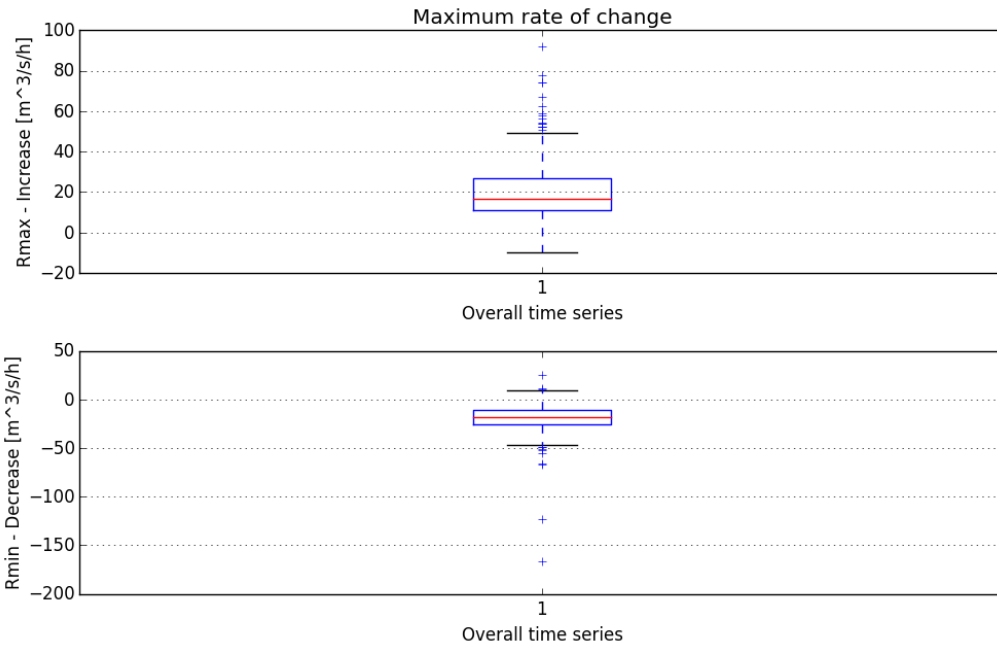


Figura A7.20 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

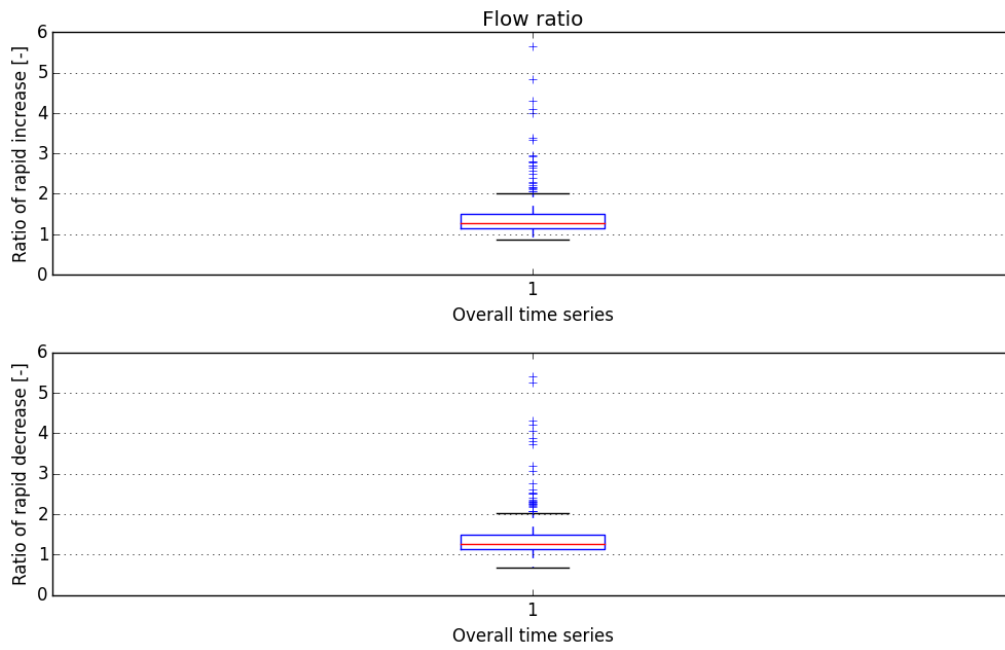


Figura A7.21 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

Sólo faltan dos datos horarios en el caso de esta serie. Se vuelve a observar un claro patrón de generación de punta, aunque sobreimpuesto sobre lo que pareciera ser el hidrograma estacional.

Se nota a simple vista que las fluctuaciones en este caso son menores, y además no parece haber un comportamiento estacional, ya que tienen la misma magnitud relativa a lo largo del año.

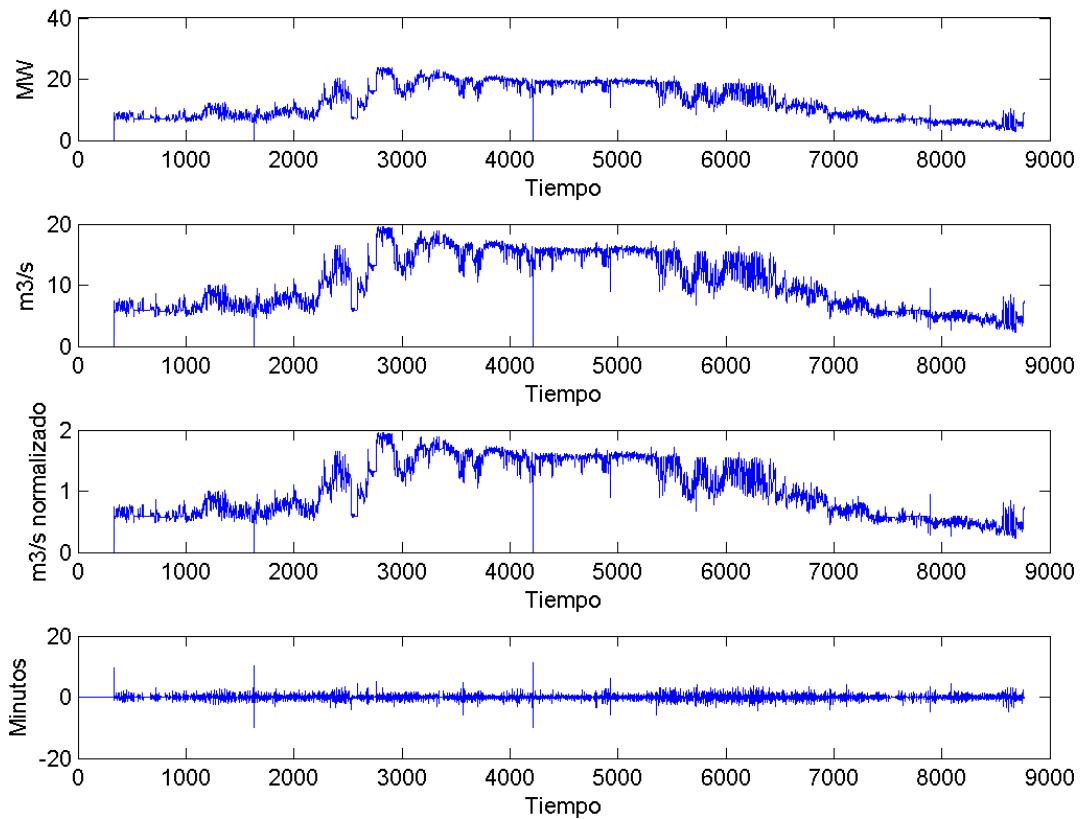


Figura A7.22 Comportamiento estimado en operación real de la Central 4  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Los períodos con caudales altos tienen una duración cuyo percentil 90% está en torno a las 12 horas, mientras que para los períodos con caudales bajos (los valles), el 90% de las instancias tiene una duración menor a 9 h.

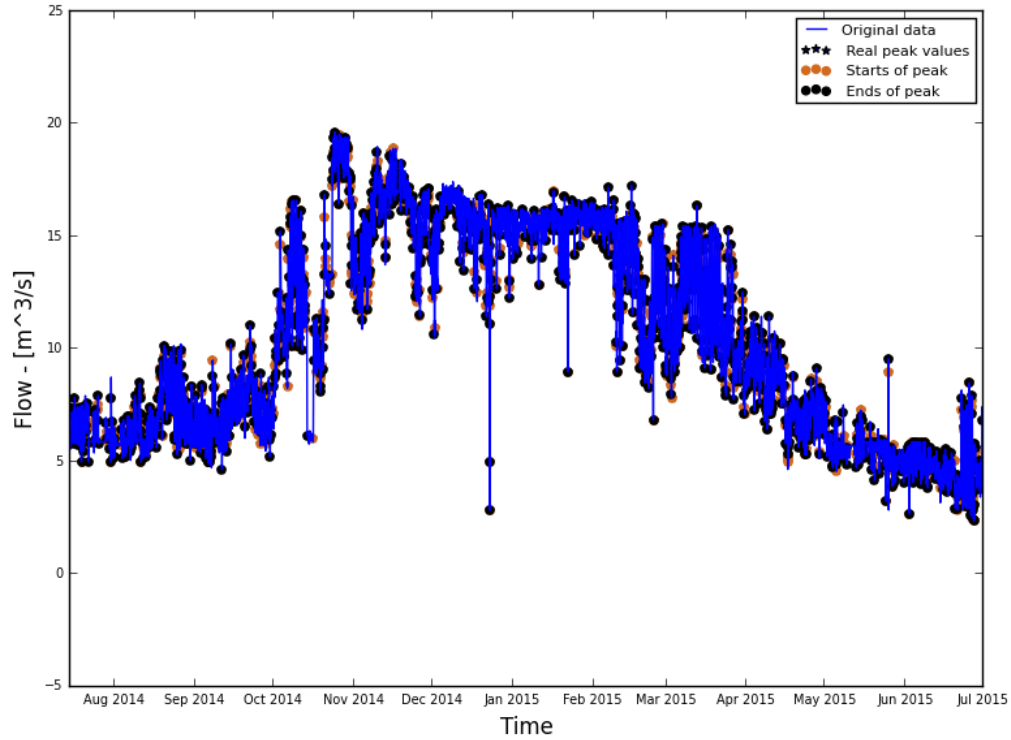


Figura A7.23 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

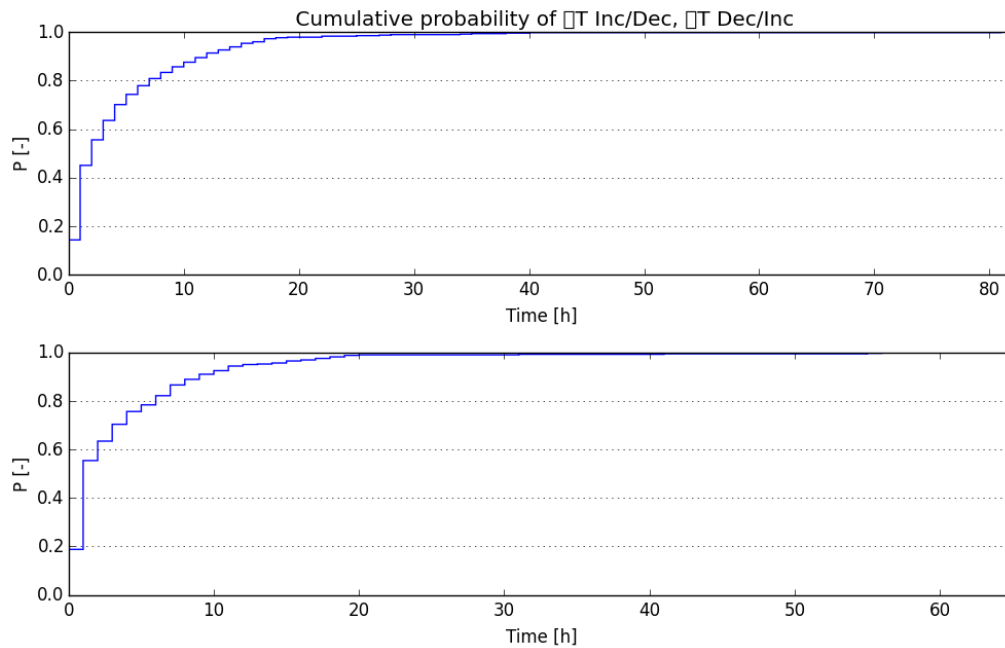


Figura A7.24 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

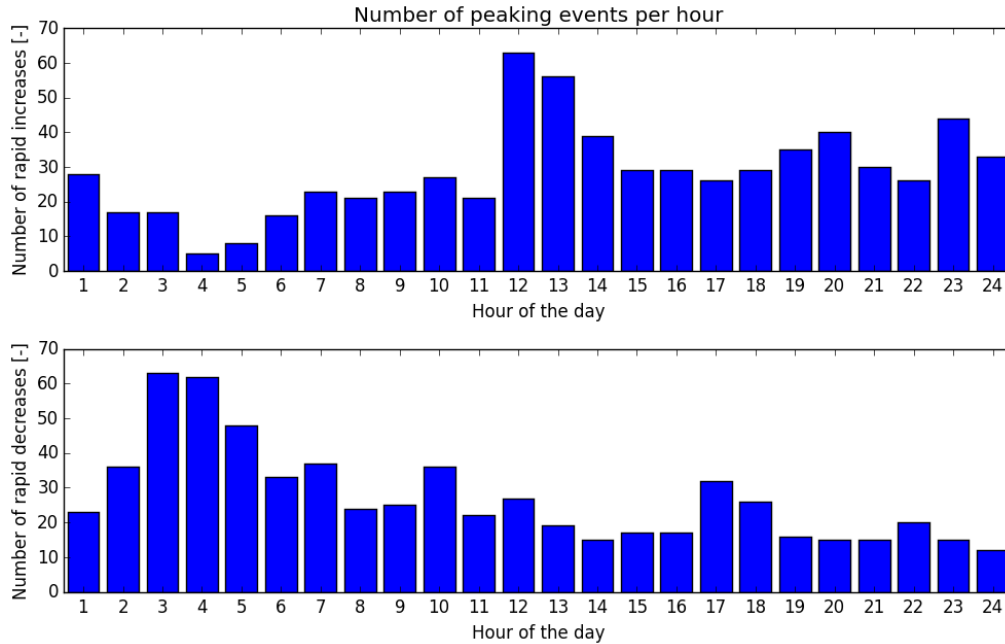


Figura A7.25 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

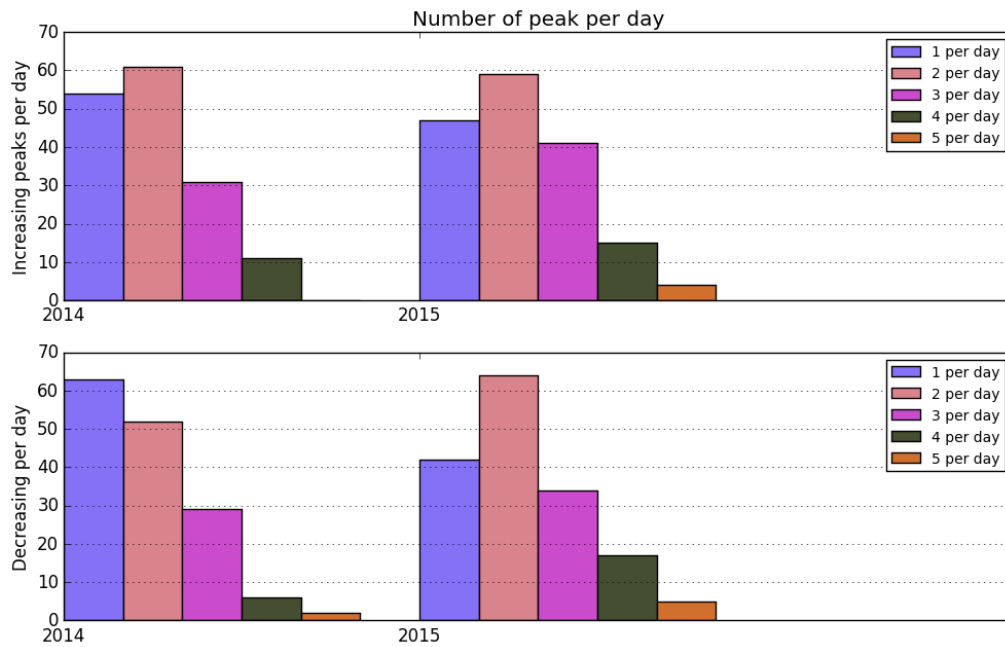


Figura A7.26 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los pulsos de subida ocurren preferentemente al mediodía y en torno a las 20 horas, mientras que los de bajada tienen un *peak* en torno a las 3 y 4 de la madrugada. En este tramo, son casi tan comunes los días con uno, dos o tres eventos de *peaking* diarios, tanto de subida como de bajada.

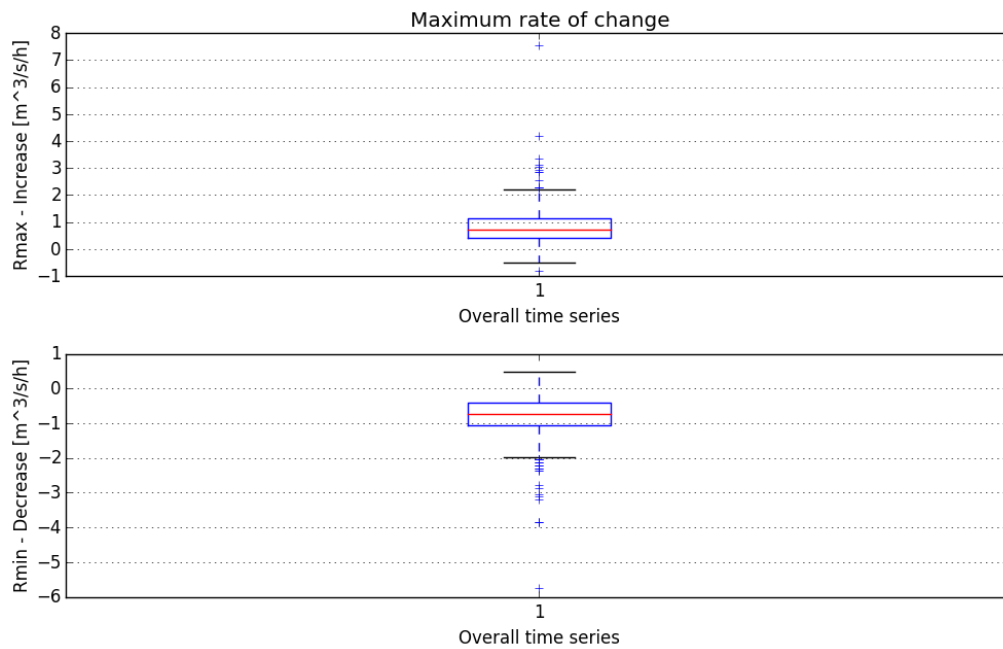


Figura A7.27 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

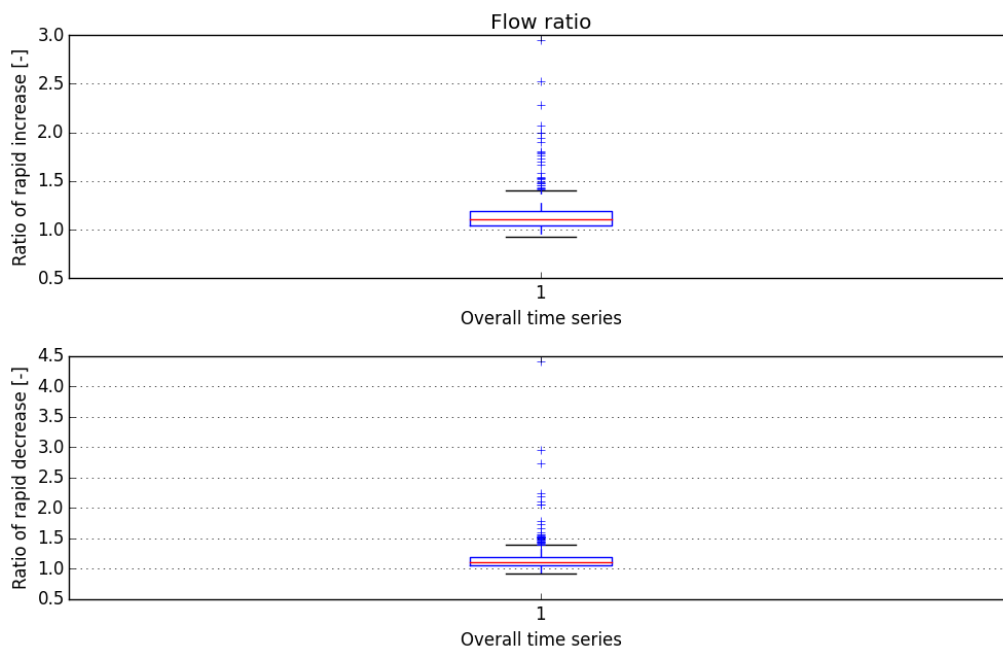


Figura A7.28 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

En este caso faltan 775 datos horarios en el año, un poco menos del 9%, lo cual se observa en las gráficas, en el segundo mes de datos.

Si bien se tiene una clara señal de *hydropeaking*, su comportamiento cambia varias veces a lo largo del año: hay períodos con muchas fluctuaciones, pero acotadas en magnitud, seguidos de semanas sin generación de punta. En los meses de verano, se tienen varias instancias con fluctuaciones muy fuertes.

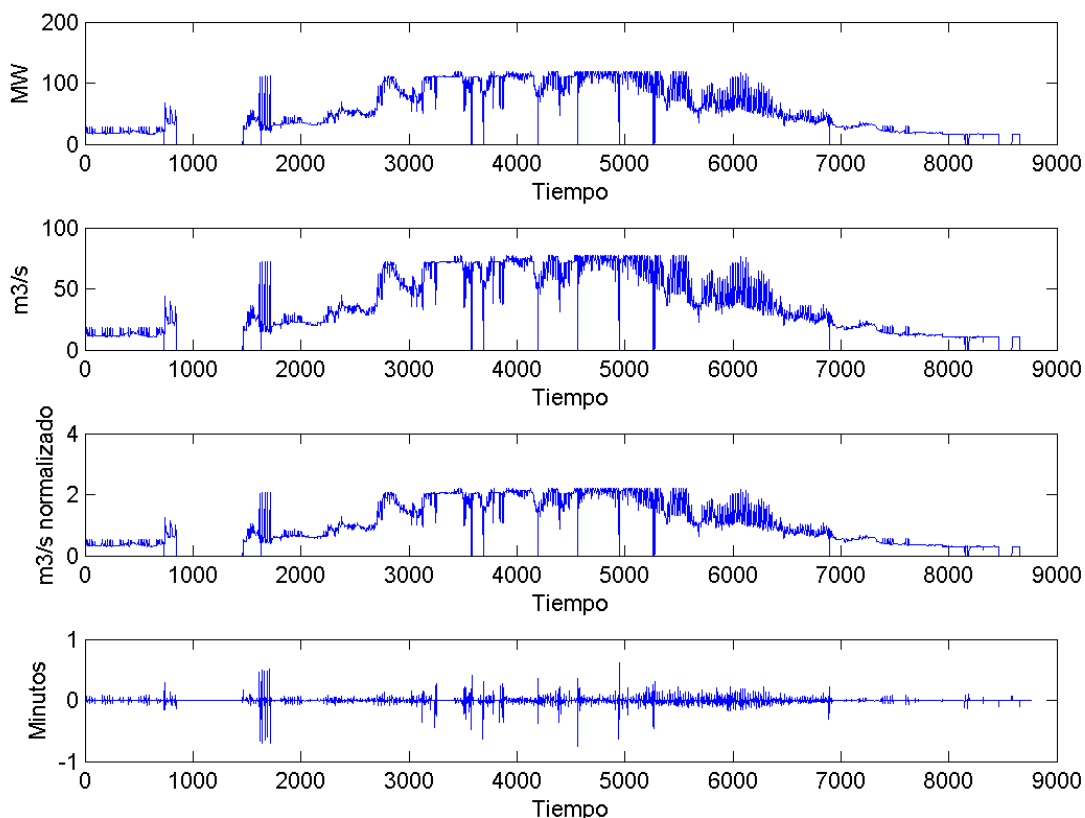


Figura A7.29 Comportamiento estimado en operación real de la Central 5  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El 90% de los pulsos altos (los picos de generación) duran 10 h o menos, mientras que el 90% de los pulsos bajos (los valles) está bajo las 18 horas de duración.

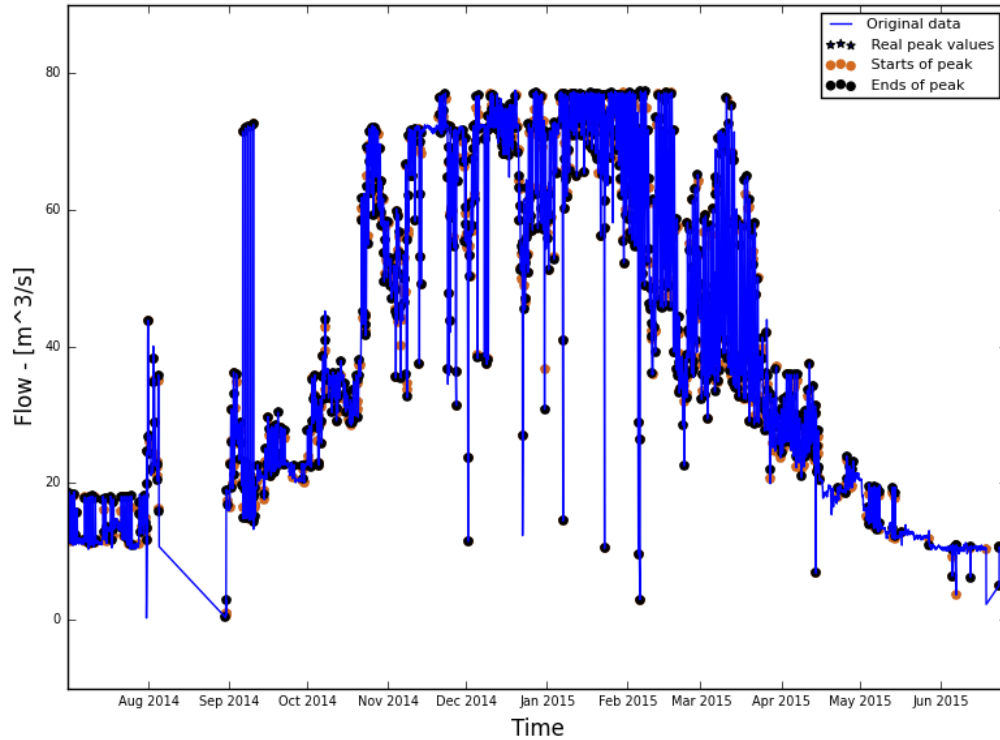


Figura A7.30 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

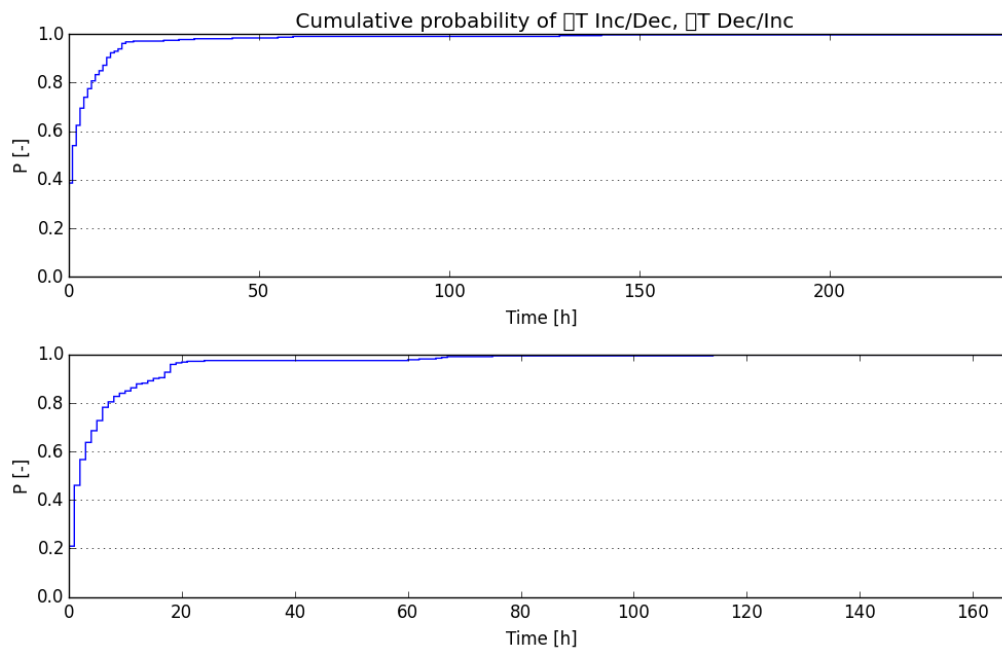


Figura A7.31 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



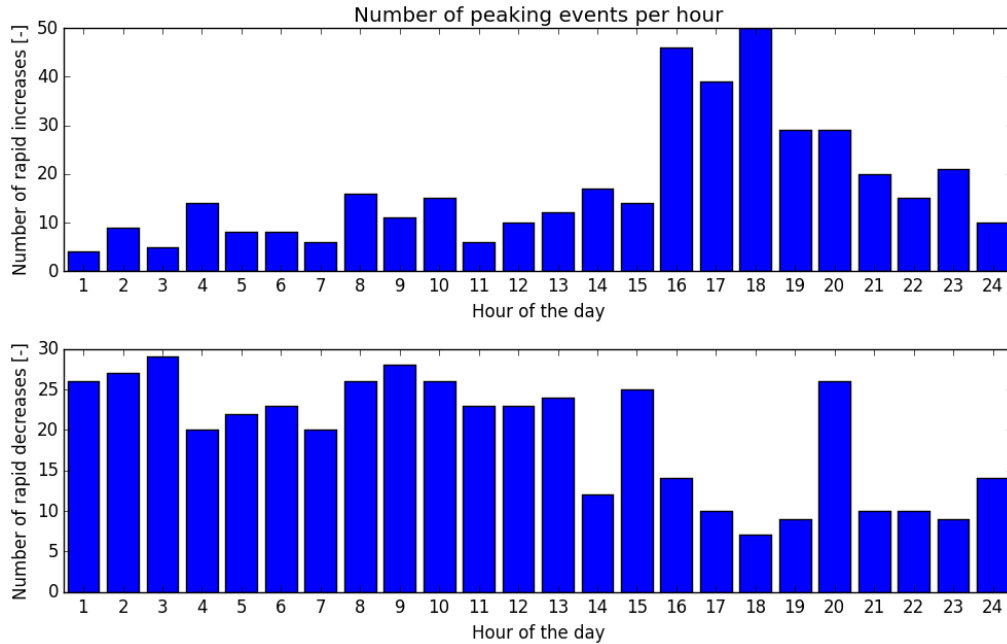


Figura A7.32 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

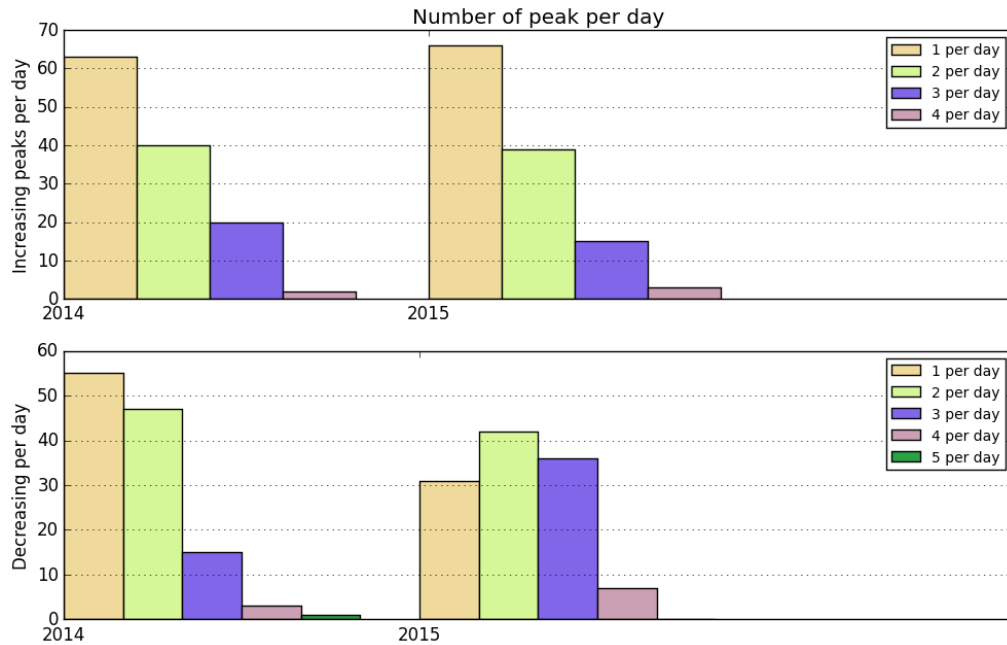


Figura A7.33 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los pulsos bruscos de subida se concentran en las horas de la tarde, de las 16 a las 20, mientras que las bajadas ocurren en cualquier momento desde la medianoche hasta la mitad de la tarde. En general, ocurre un solo evento por día, o a lo más dos, de subida.

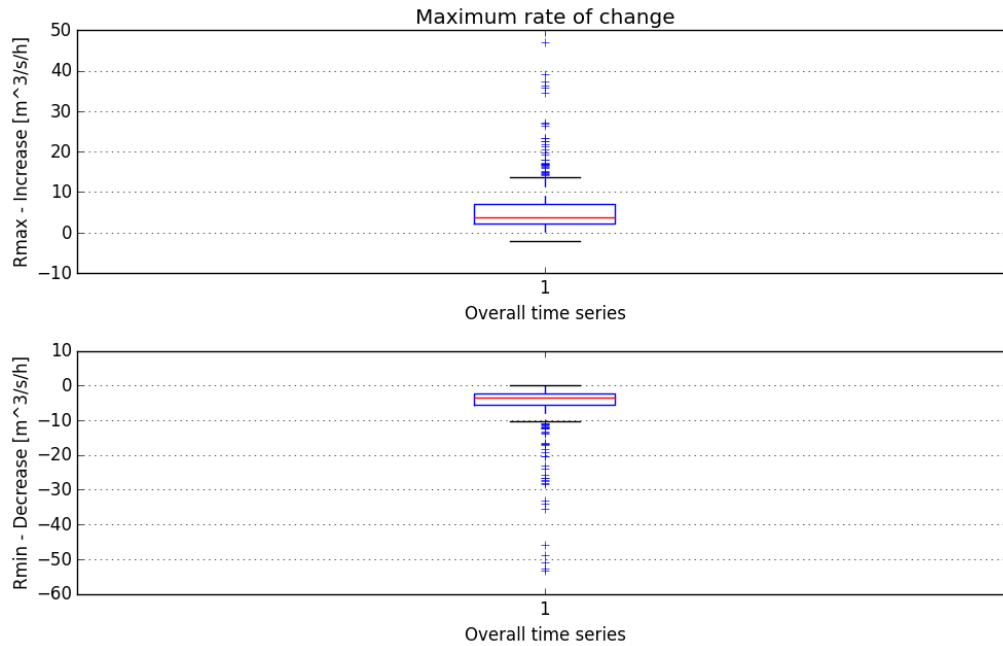


Figura A7.34 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

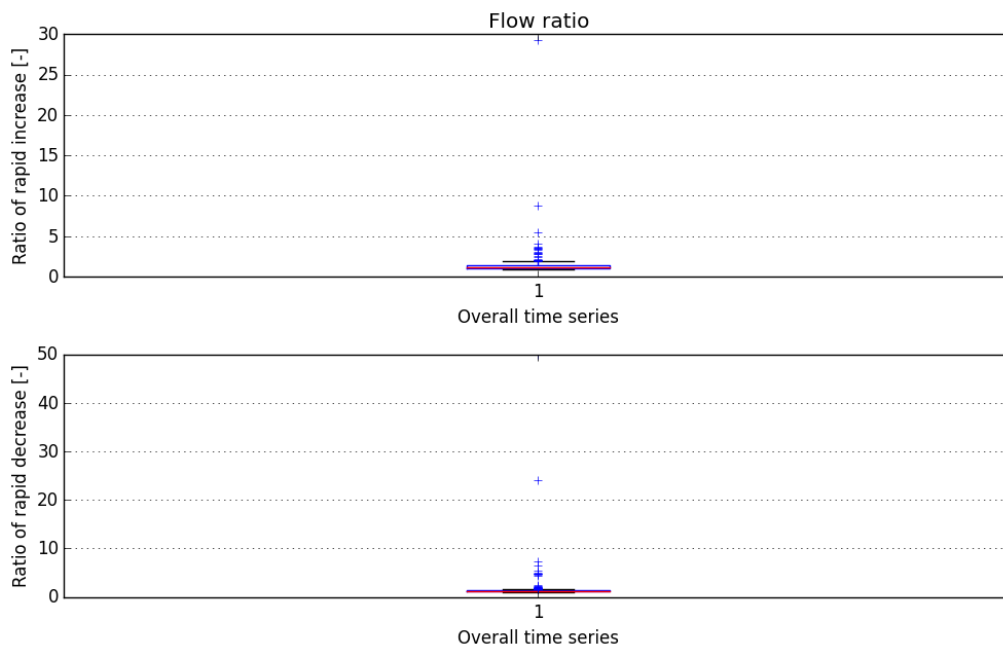


Figura A7.35 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 6

En este caso faltan 479 datos, del orden del 6%, desde el momento en que comenzó a generar esta central.

En la época de verano, el caudal de generación sigue algo muy parecido a un hidrograma natural, aunque con pulsos de alta frecuencia durante los meses con menor disponibilidad de agua. Luego, se observa un cambio brusco en el comportamiento, a partir de Mayo 2015, con clara evidencia de generación de punta.

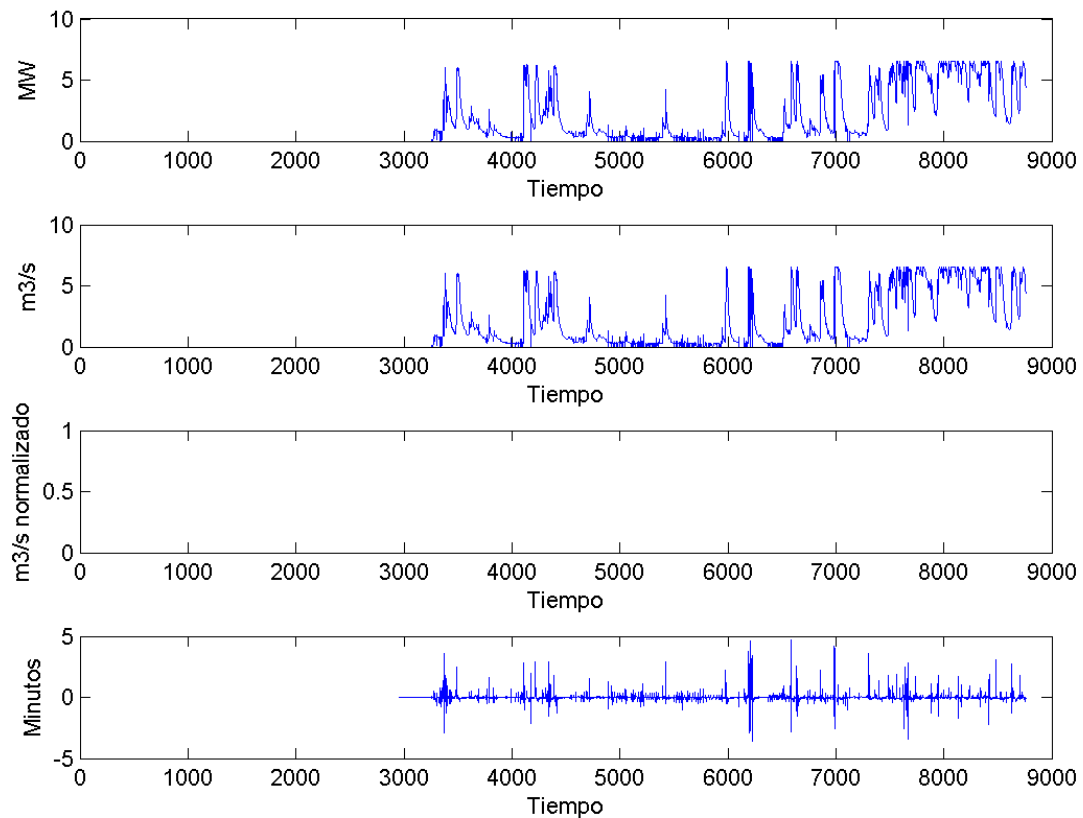


Figura A7.36 Comportamiento estimado en operación real de la Central 6

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

La mitad de los pulsos altos dura una hora o menos, mientras que el percentil 90% está en torno a las 15 h. En el caso de los valles, hay muchos que son básicamente instantáneos, o sea, el caudal llega a un mínimo y no alcanza a durar sino que vuelve a subir inmediatamente.

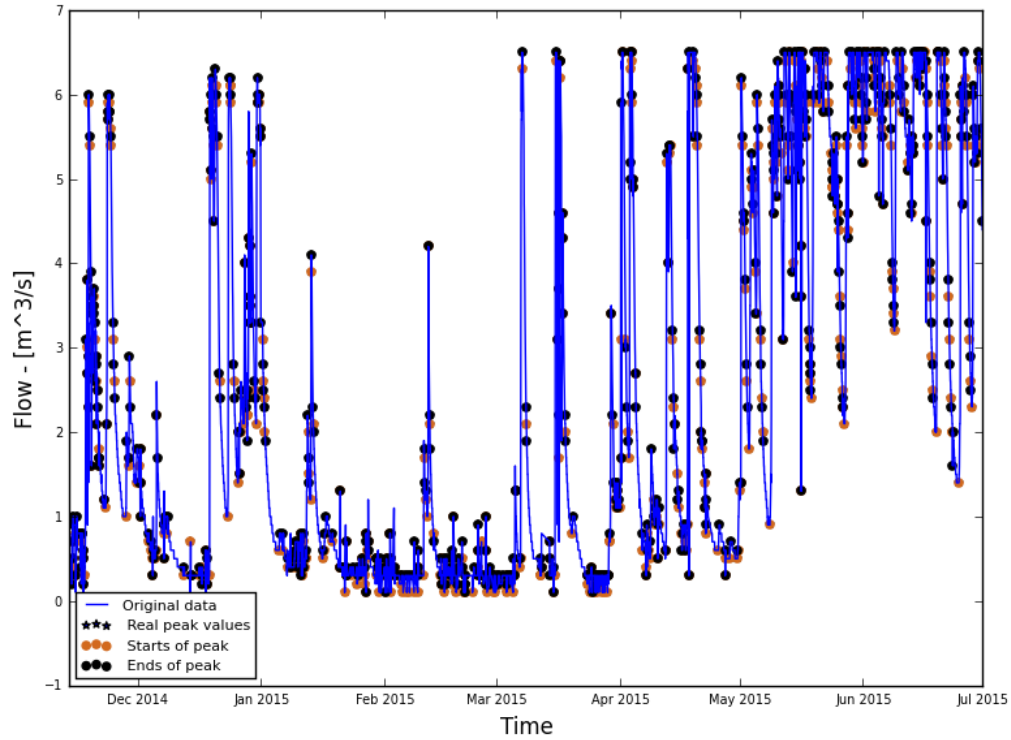


Figura A7.37 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

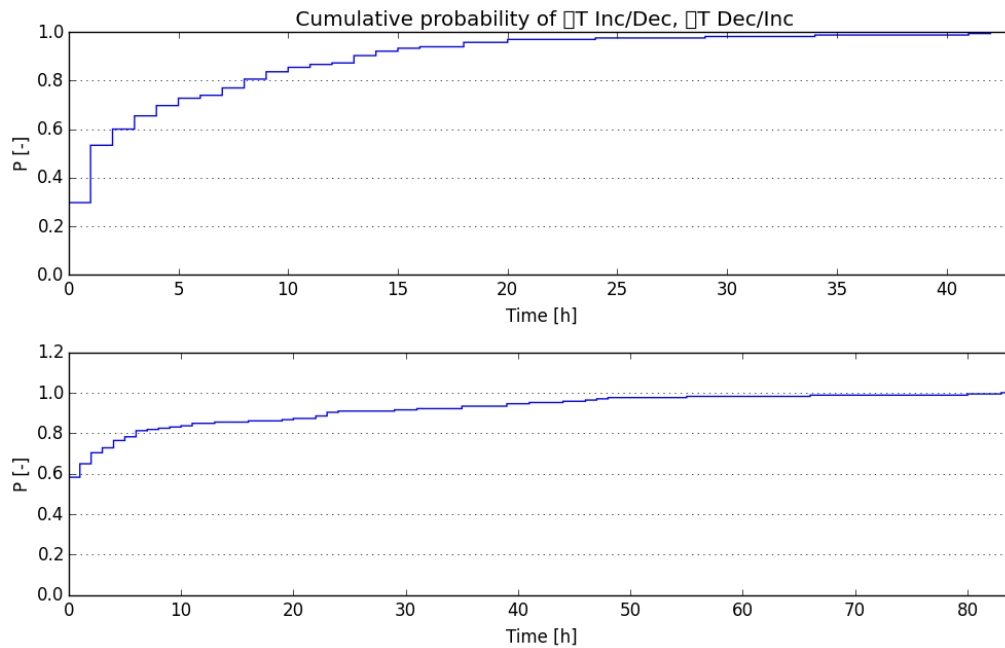


Figura A7.38 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

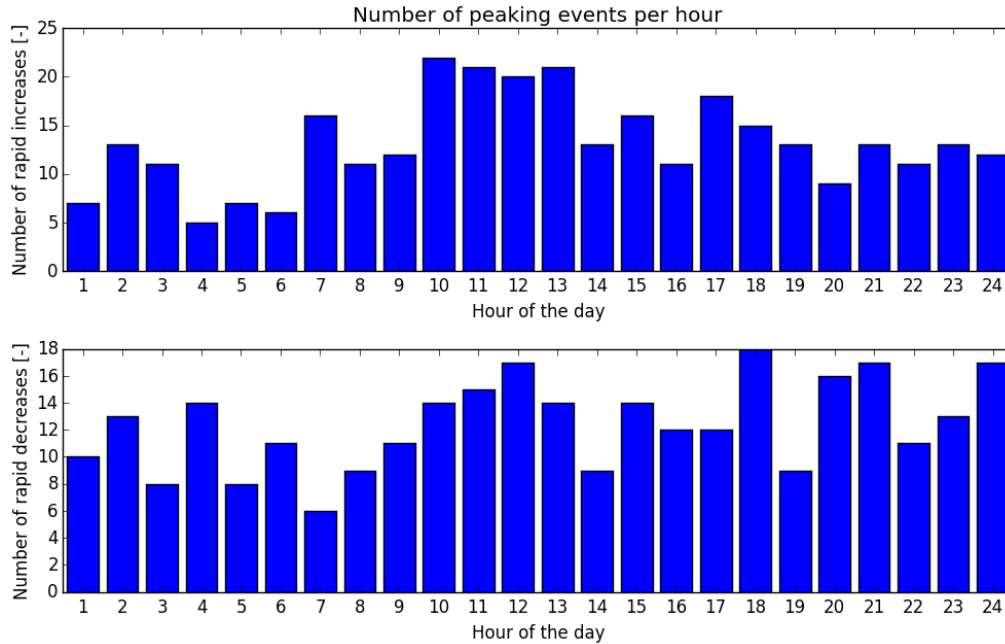


Figura A7.39 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

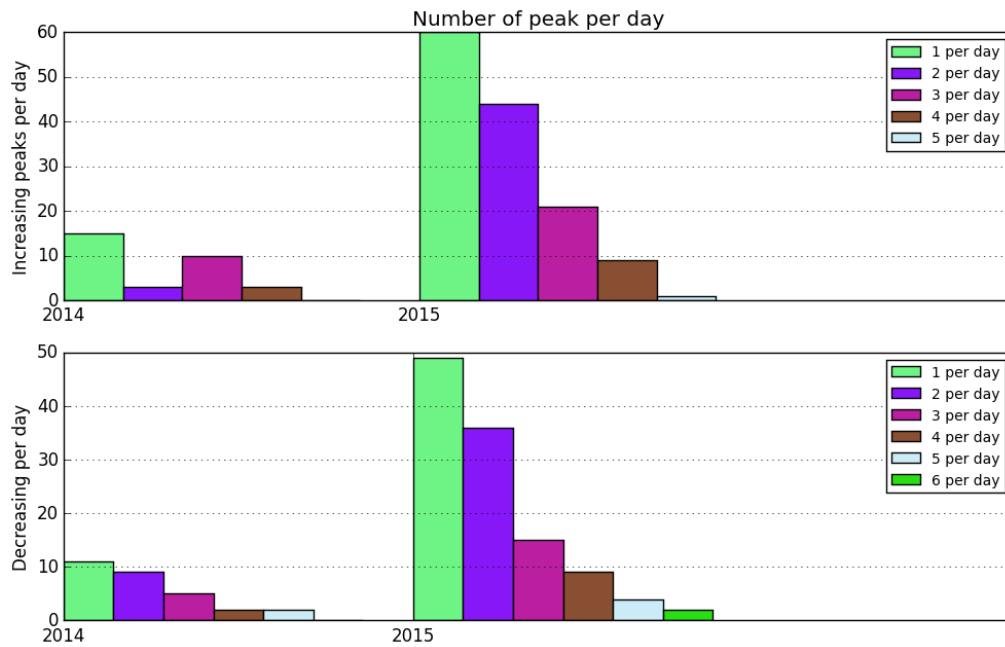


Figura A7.40 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

En este tramo, no se observa que los pulsos de subida o de bajada tengan un comportamiento predecible dentro del día: pueden ocurrir en cualquier momento más o menos con la misma probabilidad.

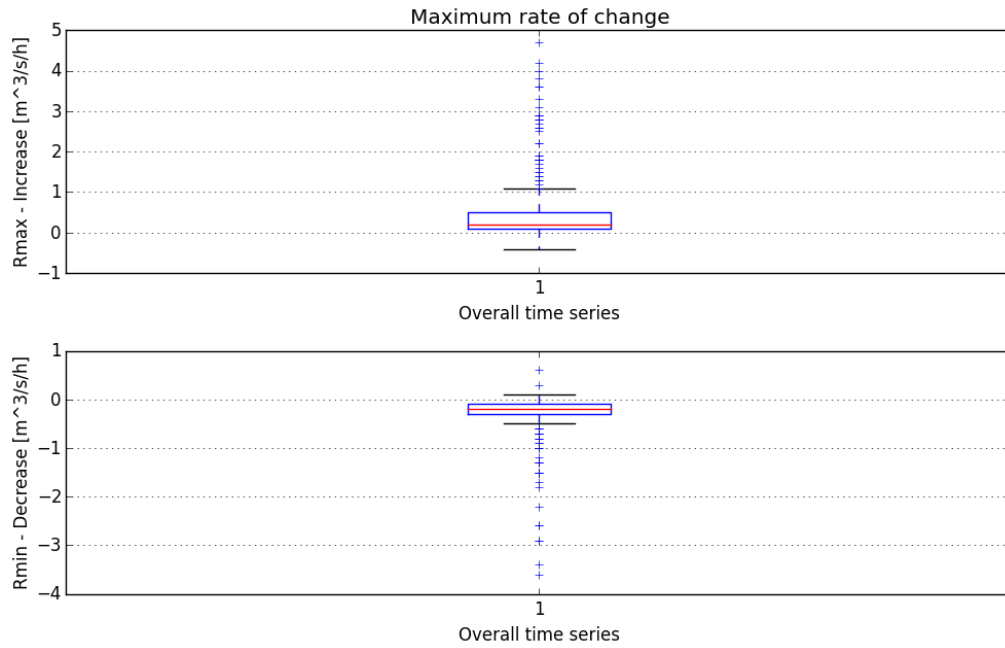


Figura A7.41 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

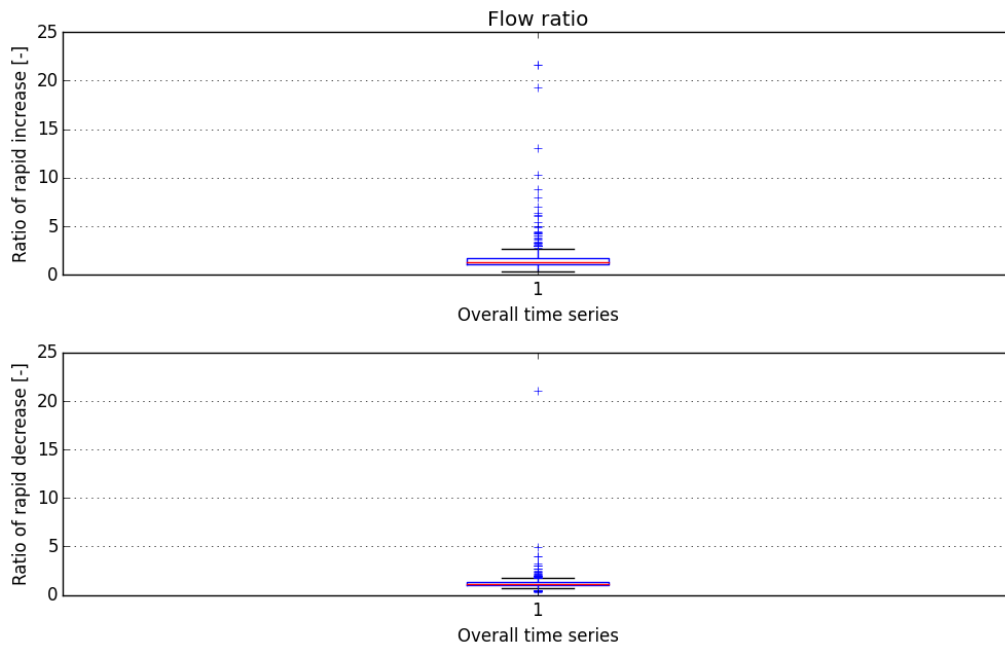


Figura A7.42 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 7

En este caso falta un total de 1528 datos, un 17.5% del total del año.

Se observa marcadamente el *hydropeaking*, aunque el efecto es distinto en el invierno y primavera, en que se genera a caudal máximo la mayor parte del tiempo, y en verano-otoño, en que se hace un seguimiento del hidrograma natural.

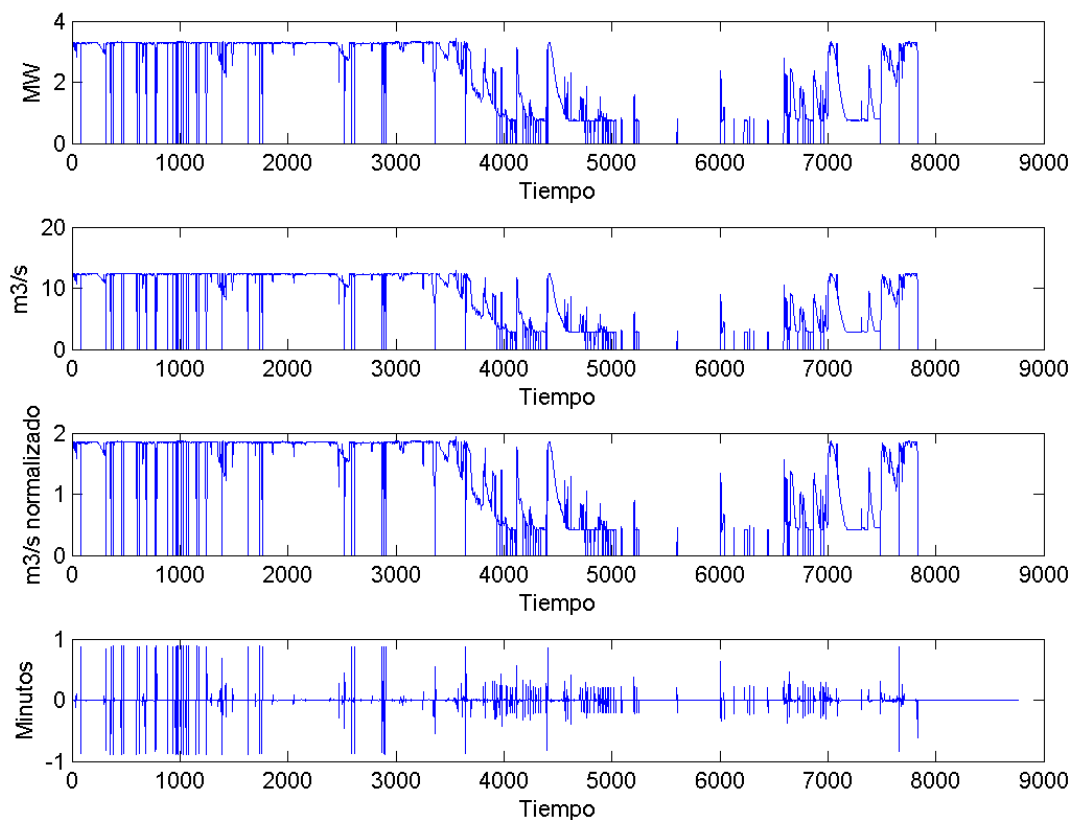


Figura A7.43 Comportamiento estimado en operación real de la Central 7

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Las fluctuaciones son muy fuertes en invierno y primavera, con grandes diferencias entre los valores máximos y mínimos. Un 70% de los picos no tiene duración, volviendo inmediatamente a disminuir tras alcanzarse el máximo. Lo mismo ocurre para cerca de un 40% de los valles.

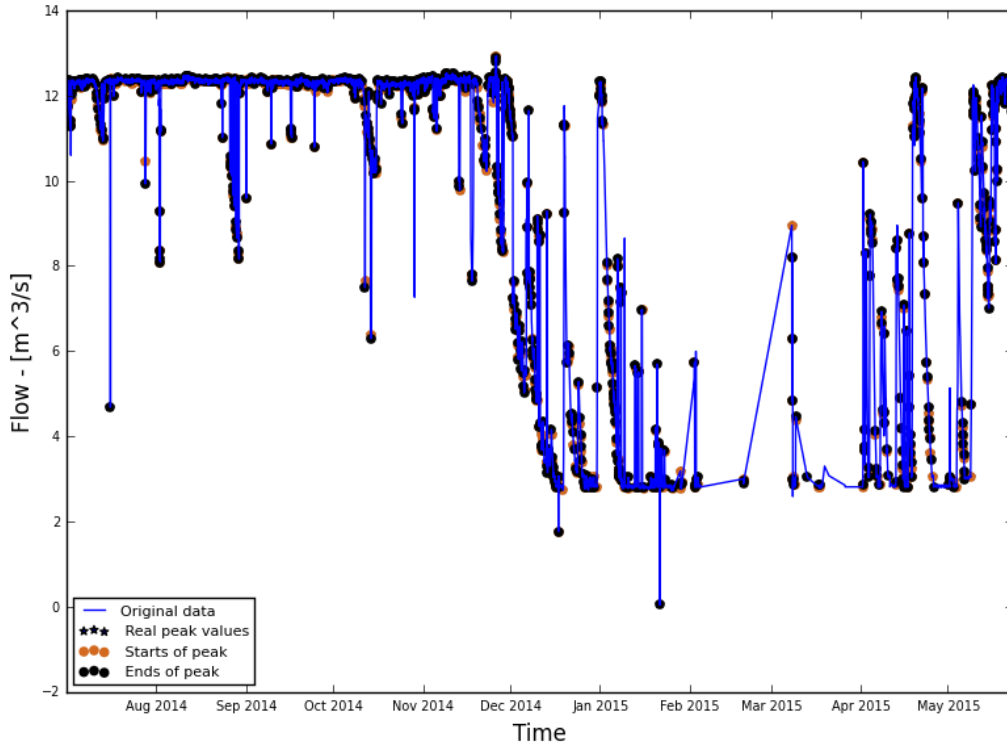


Figura A7.44 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

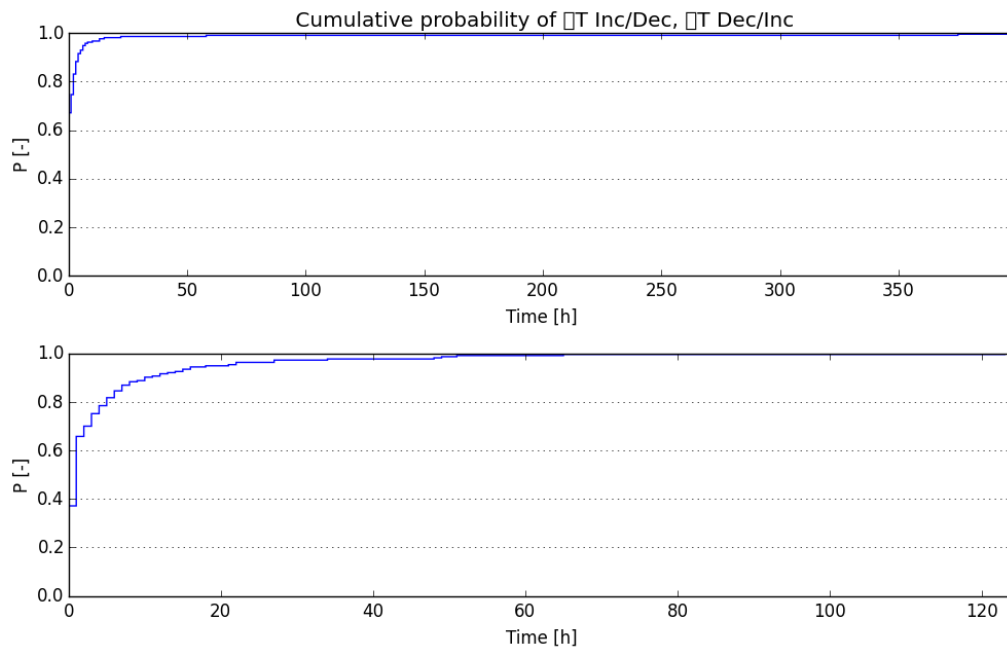


Figura A7.45 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



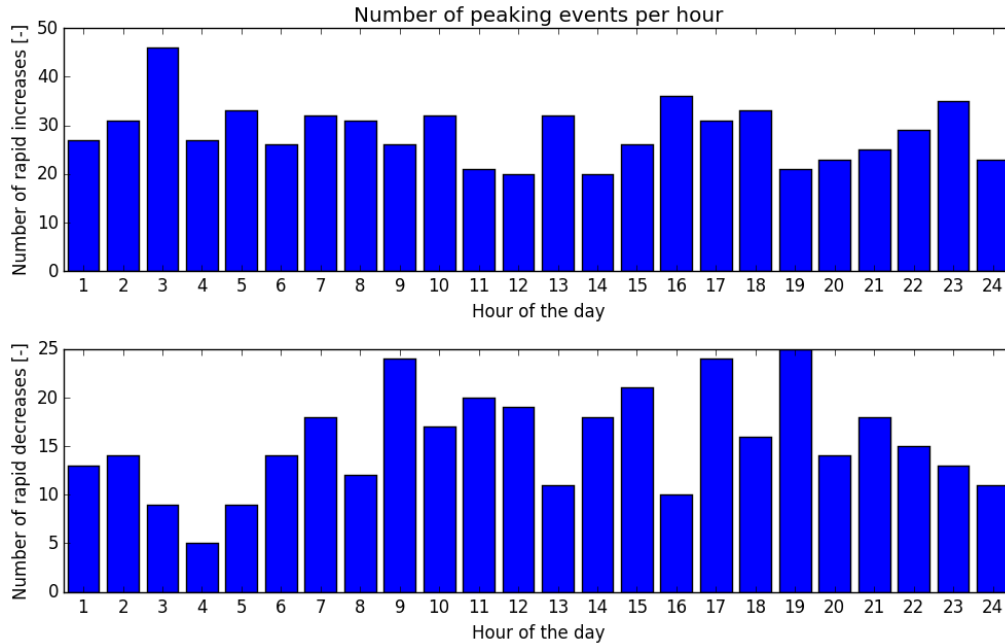


Figura A7.46 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

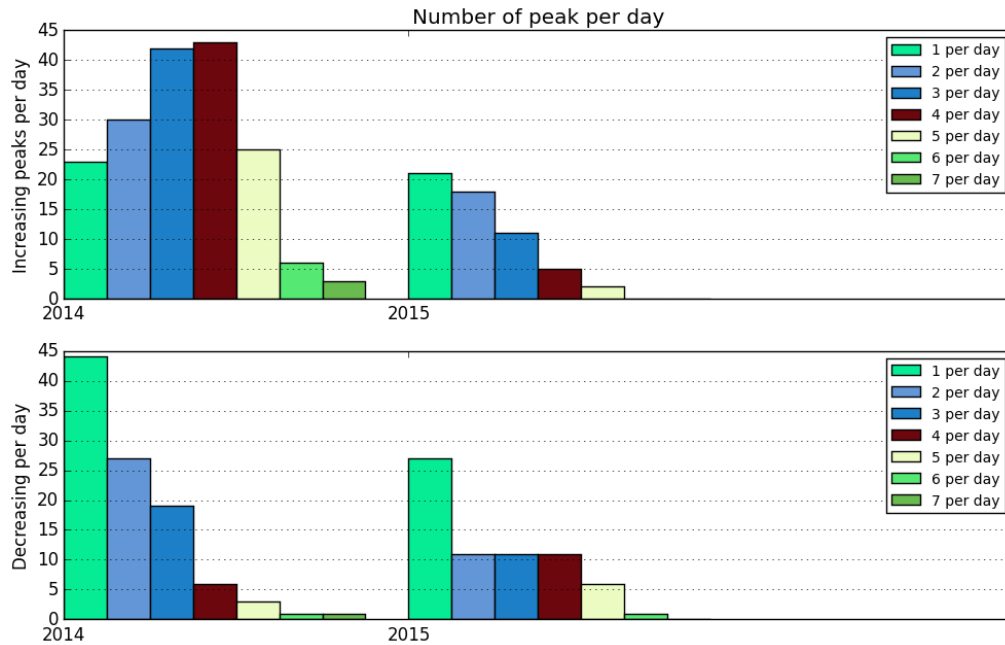


Figura A7.47 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Al igual que en el caso anterior, los eventos de *peaking* pueden ocurrir en cualquier hora del día más o menos con igual probabilidad. En este tramo hay una alta frecuencia de eventos: la moda es de tres o cuatro eventos de subida por día. Ello explica lo poco que dura la mayoría de éstos.

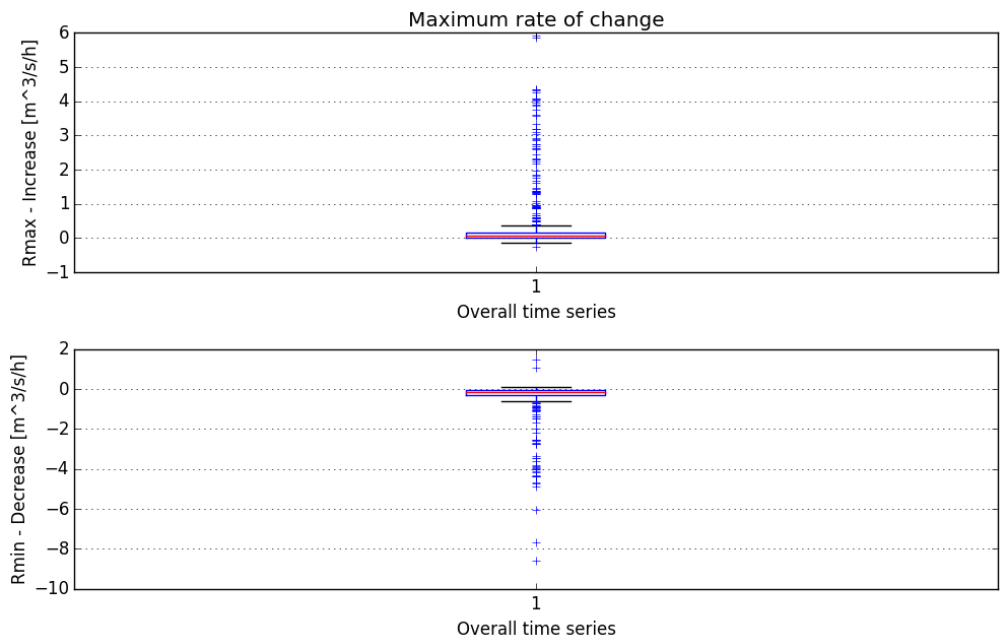


Figura A7.48 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

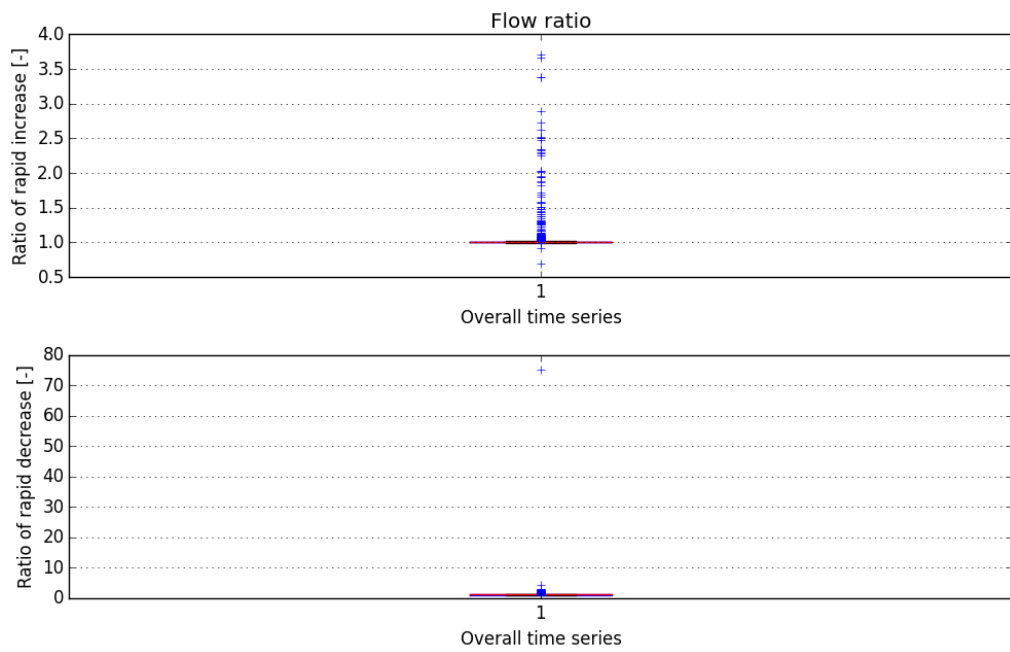


Figura A7.49 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 8

Para esta central faltan 541 datos horarios en el año, del orden del 6%.

Si bien se observa la ocurrencia de generación de punta, parece seguirse el hidrograma natural durante los meses con más agua. En estiaje se turbinan caudales bajos, con ocurrencia de pulsos de baja magnitud pero alta frecuencia. La excepción es un período de dos semanas en que se tuvieron fluctuaciones de mayor magnitud y frecuencia.

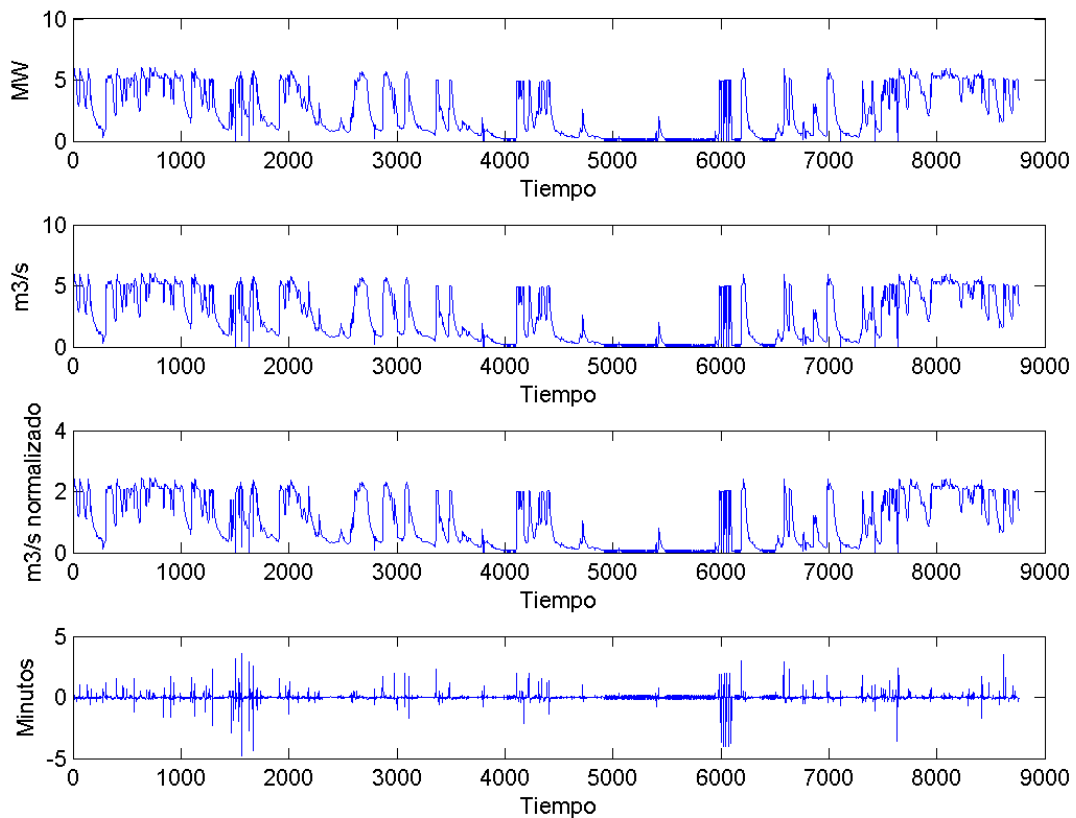


Figura A7.50 Comportamiento estimado en operación real de la Central 8

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

En cuanto a la duración de los pulsos, el 90% de los períodos con caudal alto duran menos de 15 h, teniéndose un valor similar para los valles.

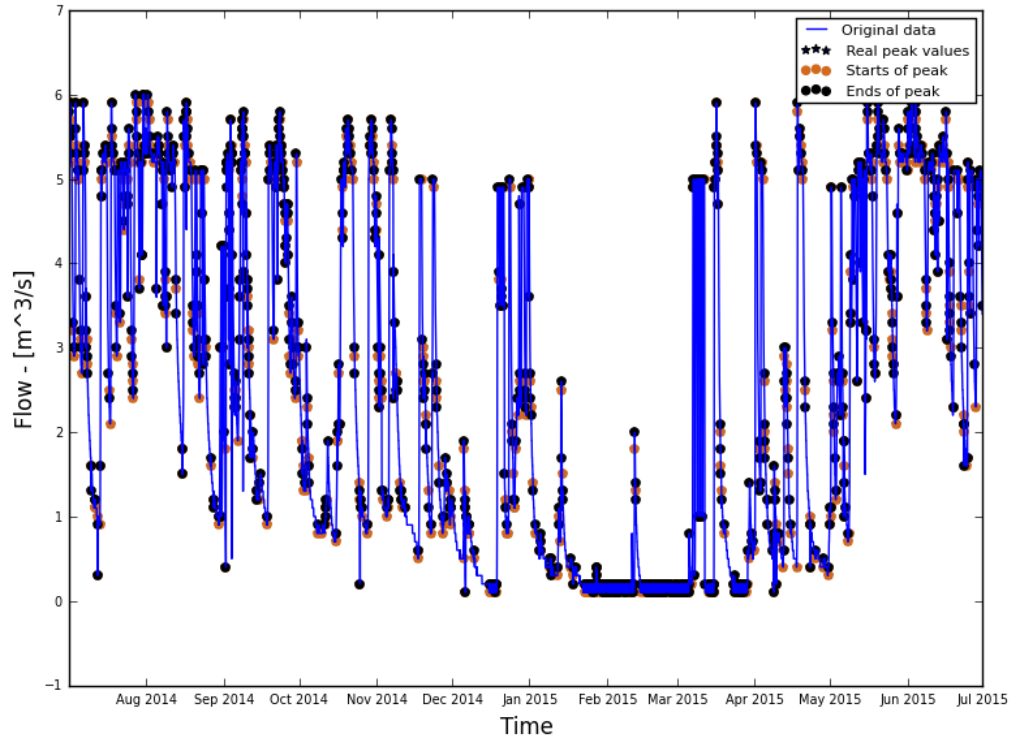


Figura A7.51 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

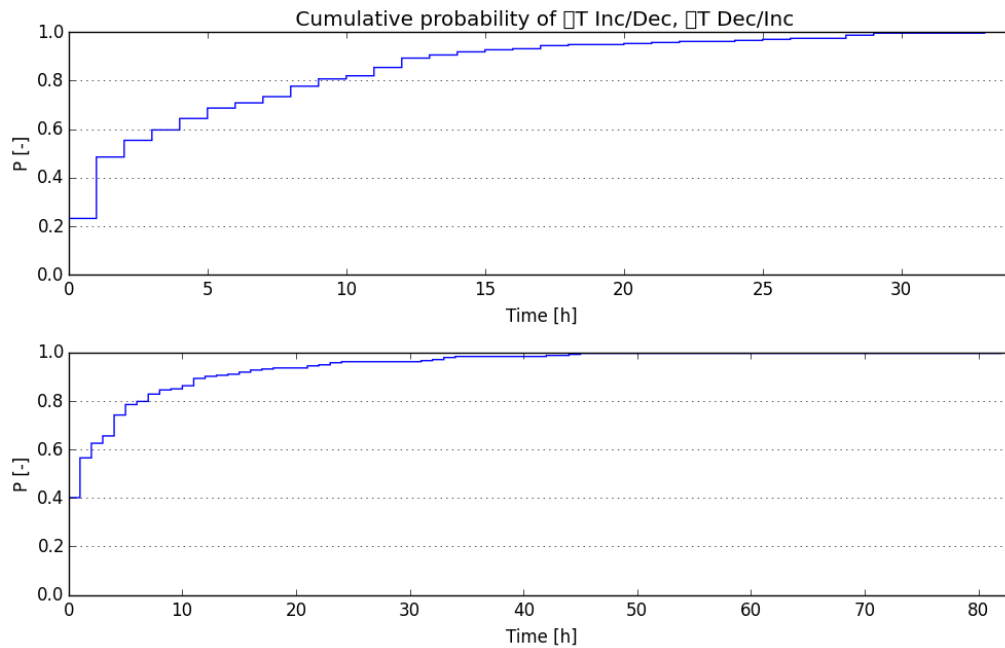


Figura A7.52 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

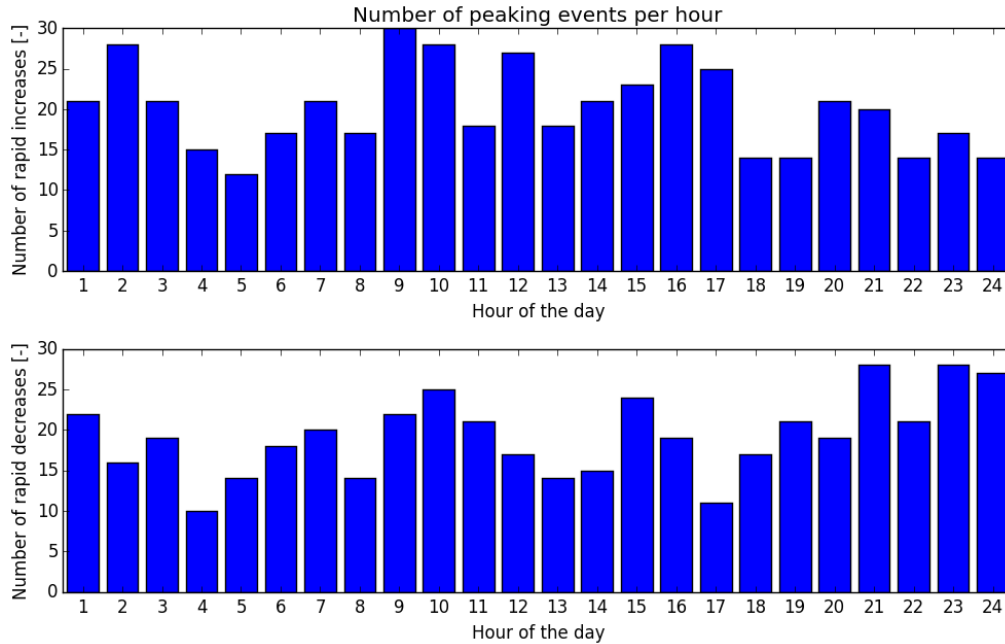


Figura A7.53 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

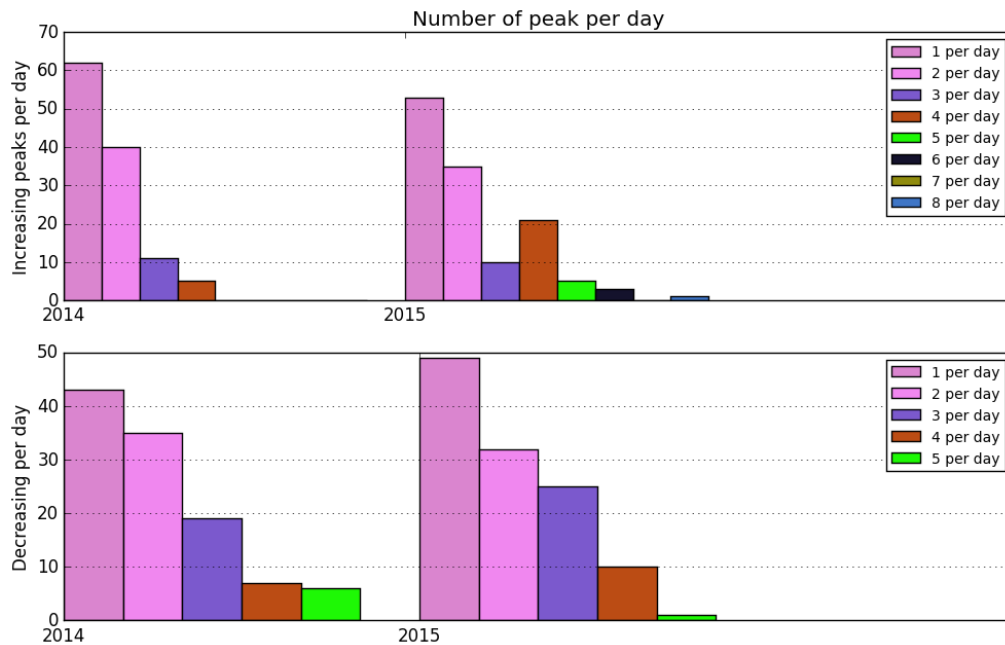


Figura A7.54 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Al igual que en otras centrales pequeñas de pasada, como las Centrales 6 y 7, los eventos bruscos de subida y bajada pueden ocurrir en cualquier hora del día. En este caso, sin embargo, lo más común es que haya uno o dos eventos diarios, tanto de subida como de bajada.

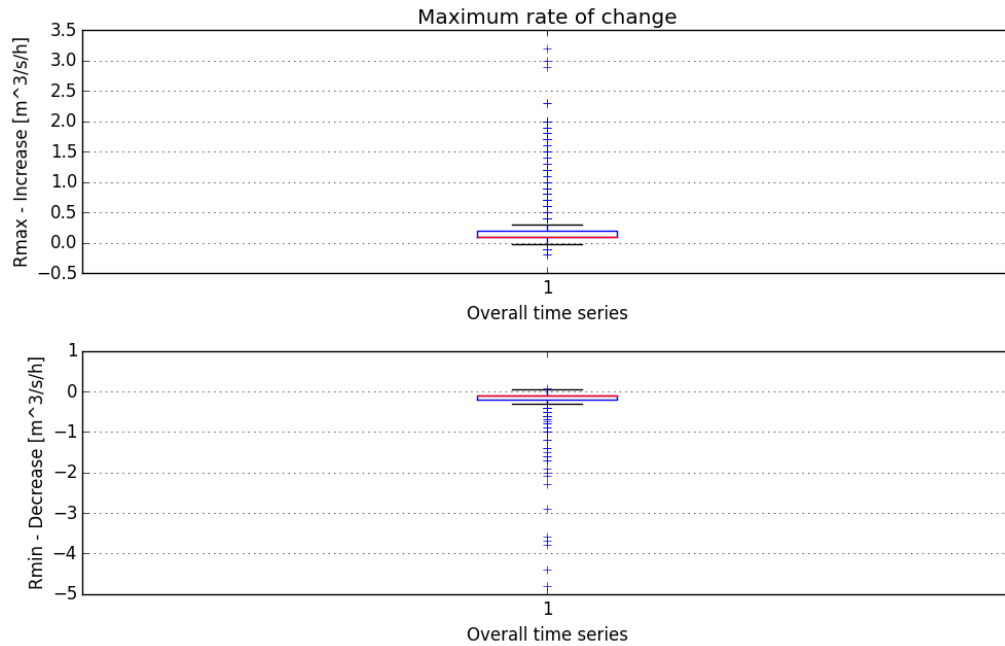


Figura A7.55 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

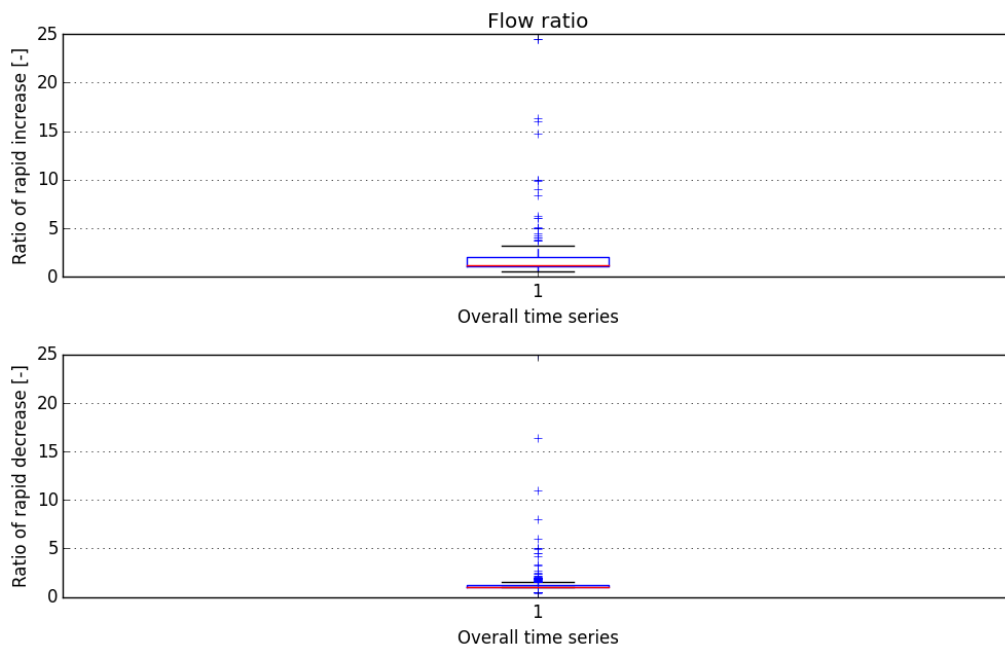


Figura A7.56 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 9

En este caso, falta un 5% de los datos, correspondientes a 445 valores en el año.

Se observa claramente la ocurrencia de eventos de generación, algunos muy fuertes en términos relativos, pero el comportamiento es distinto a lo observado anteriormente: el caudal máximo turbinado a diario sigue una envolvente muy regular a lo largo del año (exceptuando un mes de invierno). Por otra parte, hay períodos de hasta un mes en que se genera con un caudal básicamente constante.

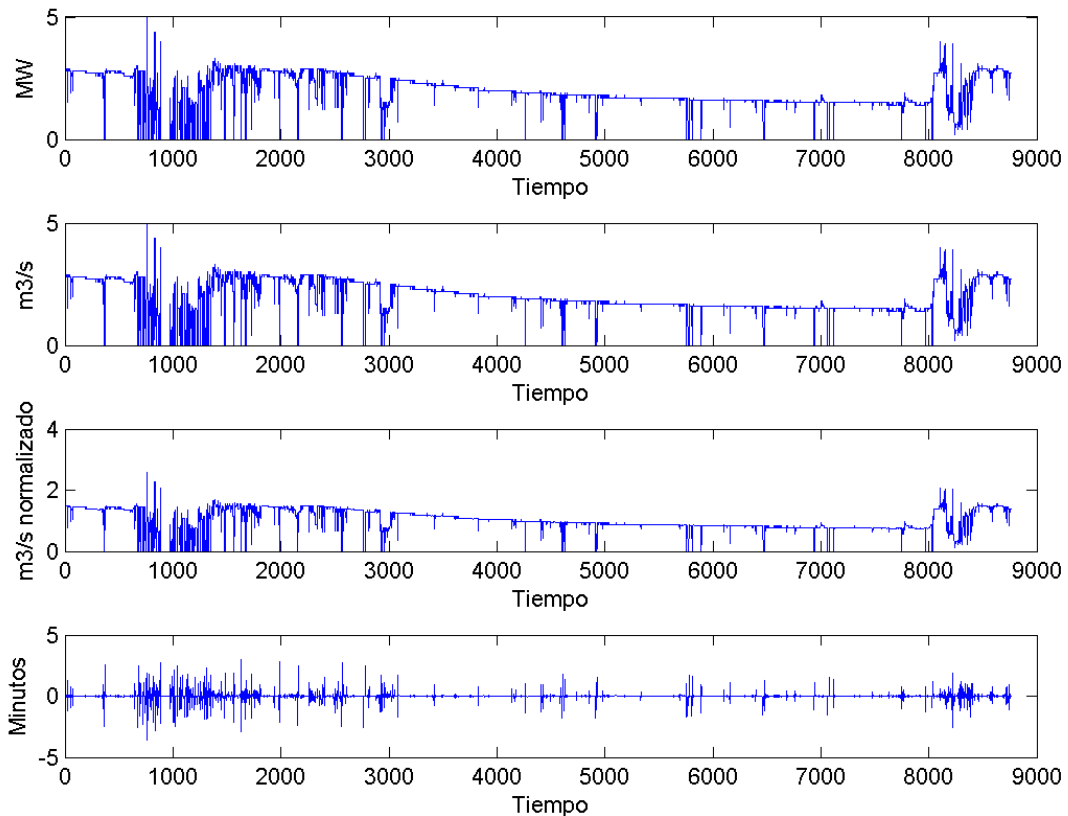


Figura A7.57 Comportamiento estimado en operación real de la Central 9

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Probablemente debido a lo largos que pueden ser los períodos de caudal "alto" (entre el término de una subida y el inicio de la bajada que le sigue), COSH no es capaz de generar las distribuciones acumuladas para las duraciones. Esta situación se repite en otros casos, pero para no cambiar el orden de presentación, se prefiere dejar el espacio.

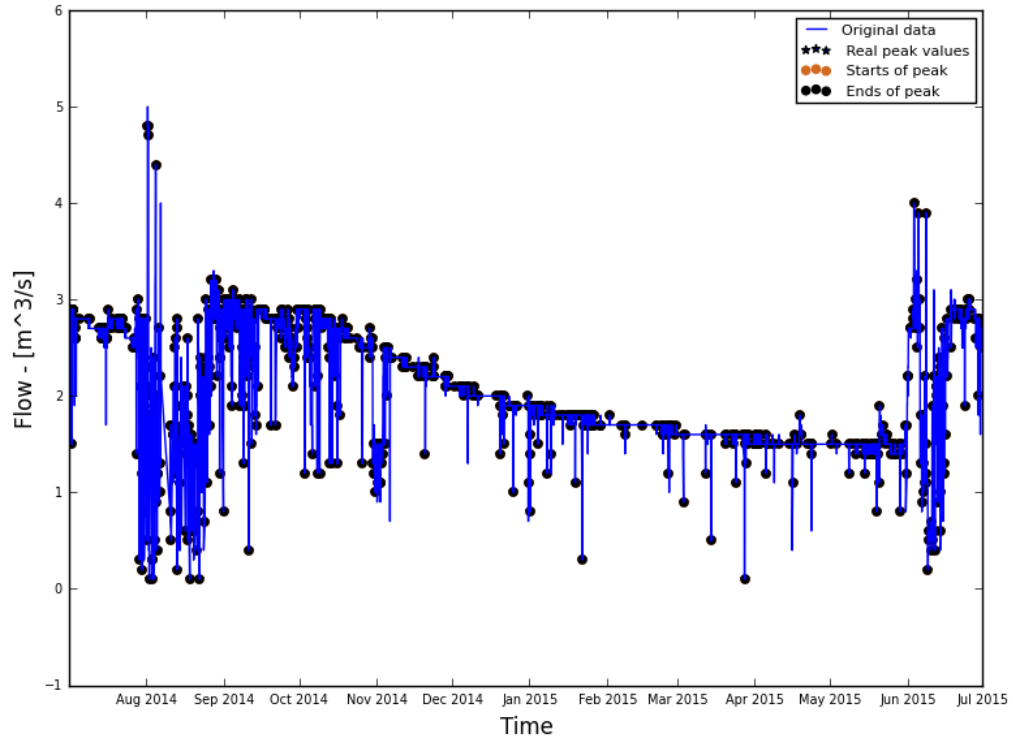


Figura A7.58 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

NO ARROJA GRAFICA COSH

Figura A7.59 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



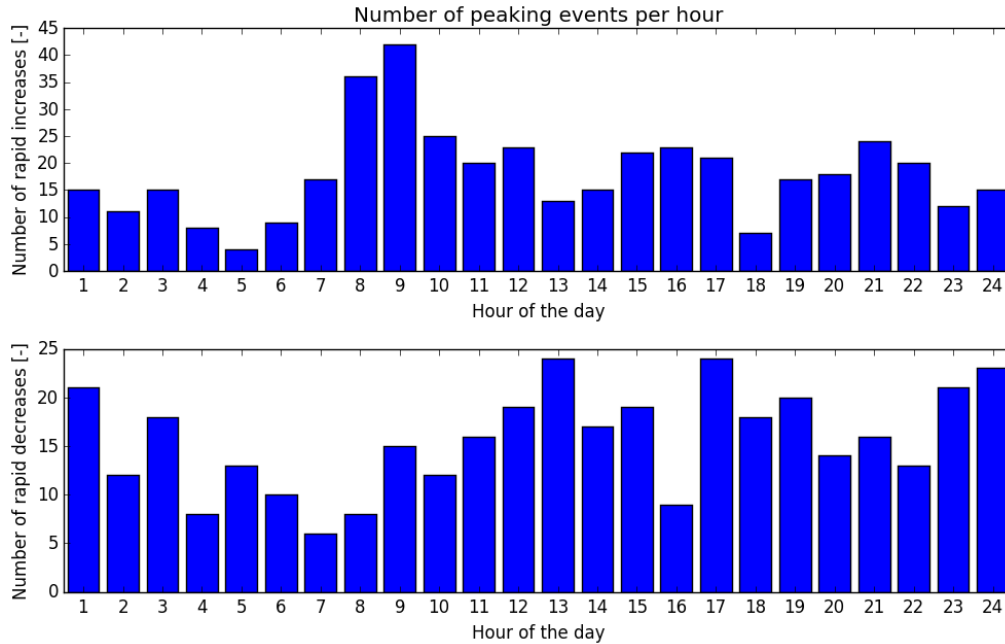


Figura A7.60 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

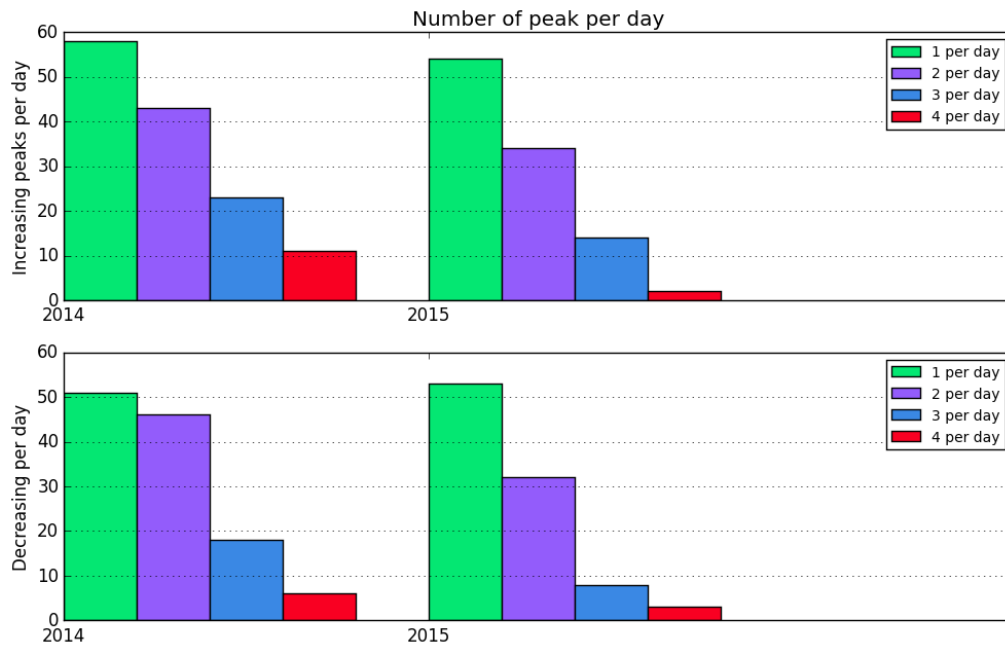


Figura A7.61 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Tal como en casos anteriores, para centrales de paso pequeñas, no se tiene una tendencia marcada en cuanto a las horas de ocurrencia de los eventos de *peaking*. Por otra parte, en lo que respecta a su frecuencia, la mayor parte de los días se tiene un solo evento, o bien dos.

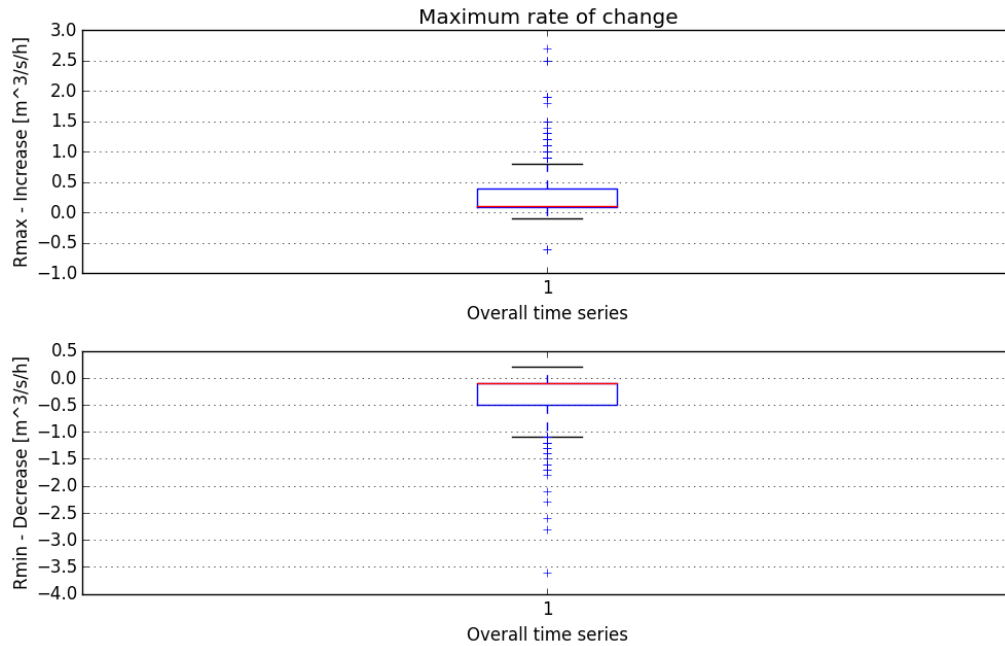


Figura A7.62 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

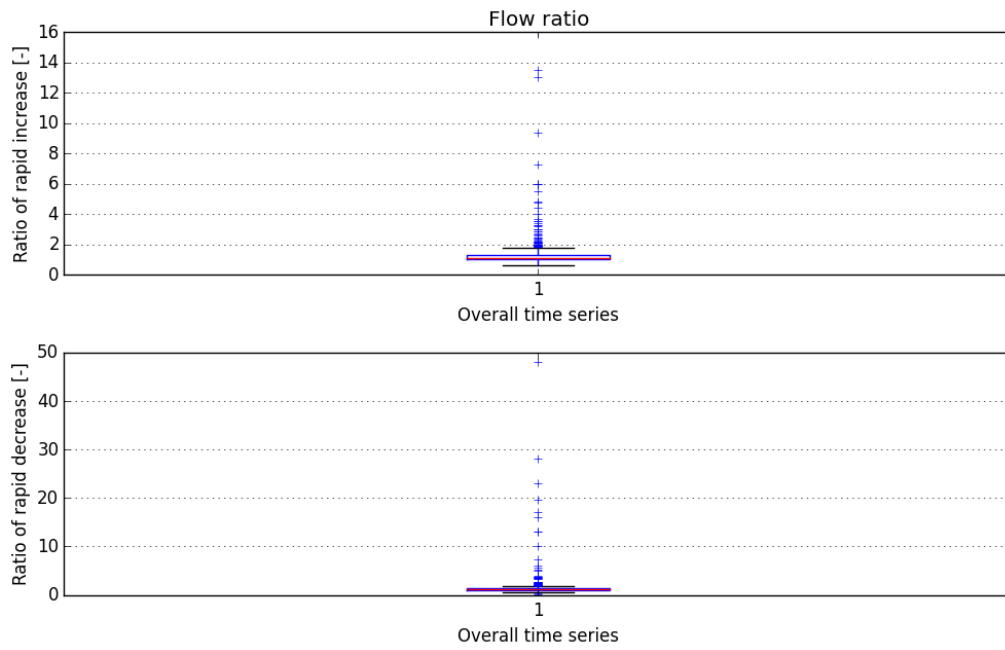


Figura A7.63 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 10

En este caso sólo se dispone datos para los primeros tres meses del período de estudio, faltando 53 horas.

Se observa un hidrograma con claro efecto antrópico, pero sin ninguna lógica, que no sea por fluctuaciones pequeñas, de alta frecuencia, superimpuestas sobre el hidrograma.

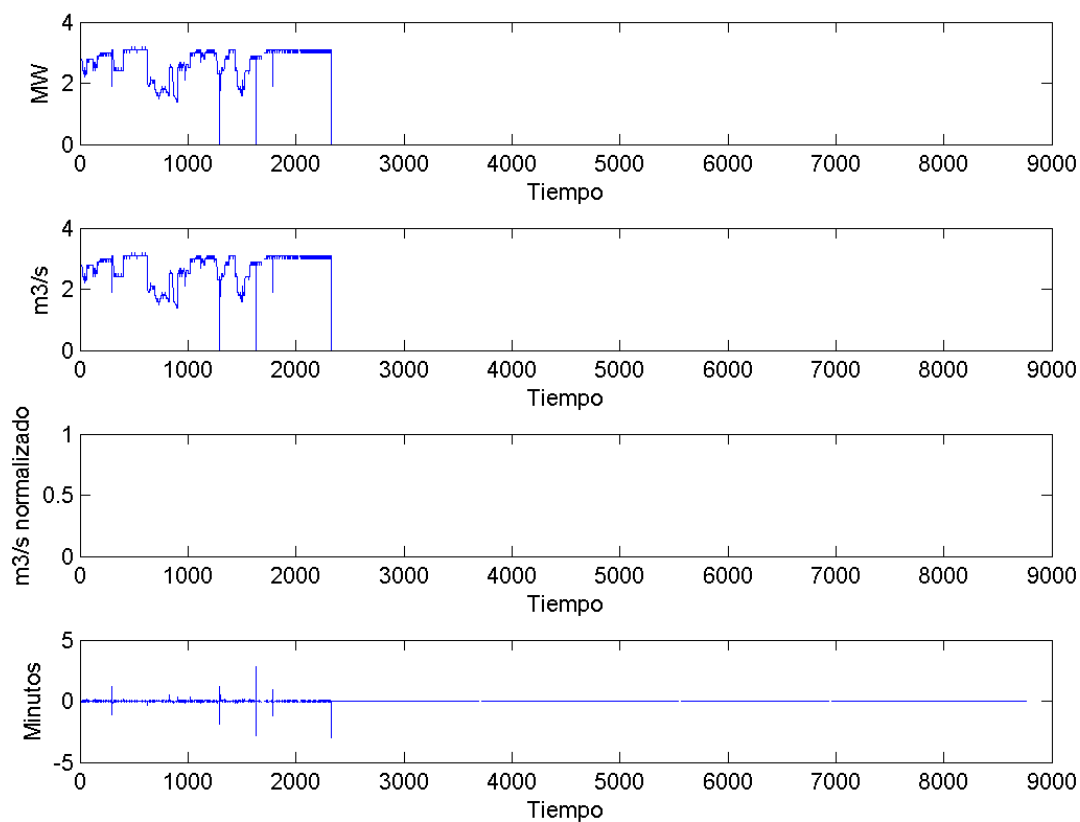


Figura A7.64 Comportamiento estimado en operación real de la Central 10

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Se considera que los datos son insuficientes en este caso como para poder analizar la situación. Por lo demás, al igual que en un caso anterior, el software COSH no fue capaz de elaborar las distribuciones acumuladas de probabilidad para las duraciones de los pulsos de *peaking*.

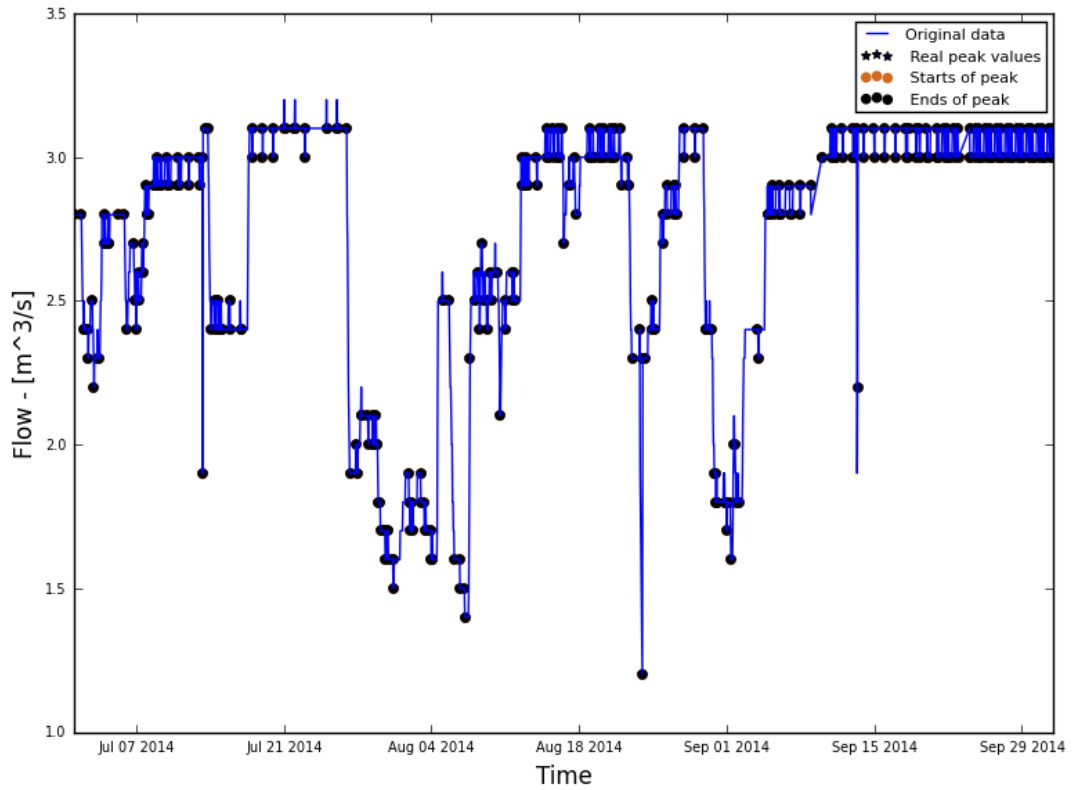


Figura A7.65 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

NO ARROJA GRAFICA COSH

Figura A7.66 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

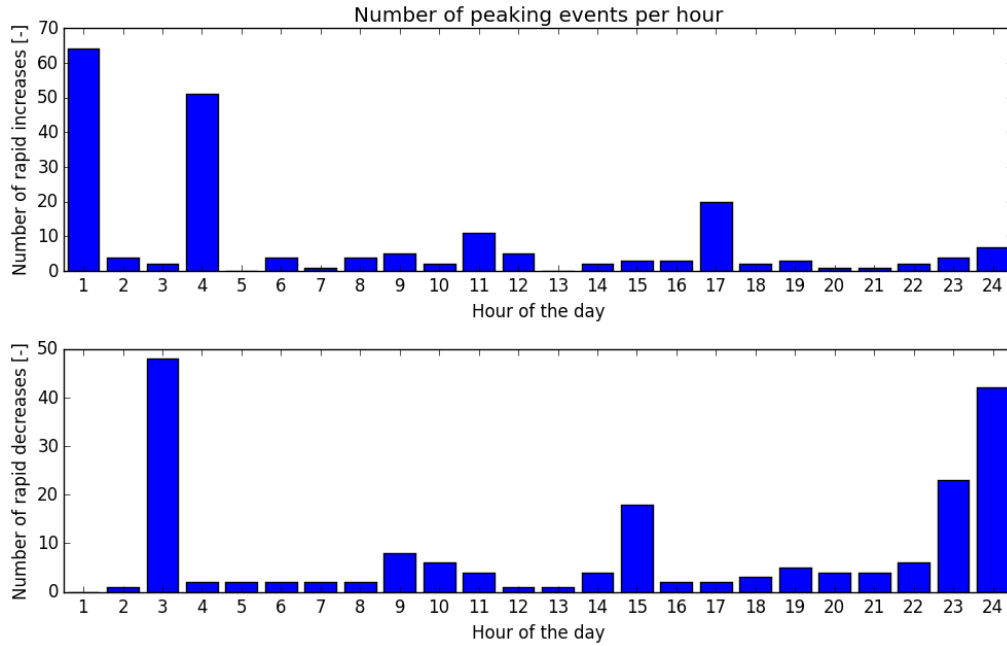


Figura A7.67 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

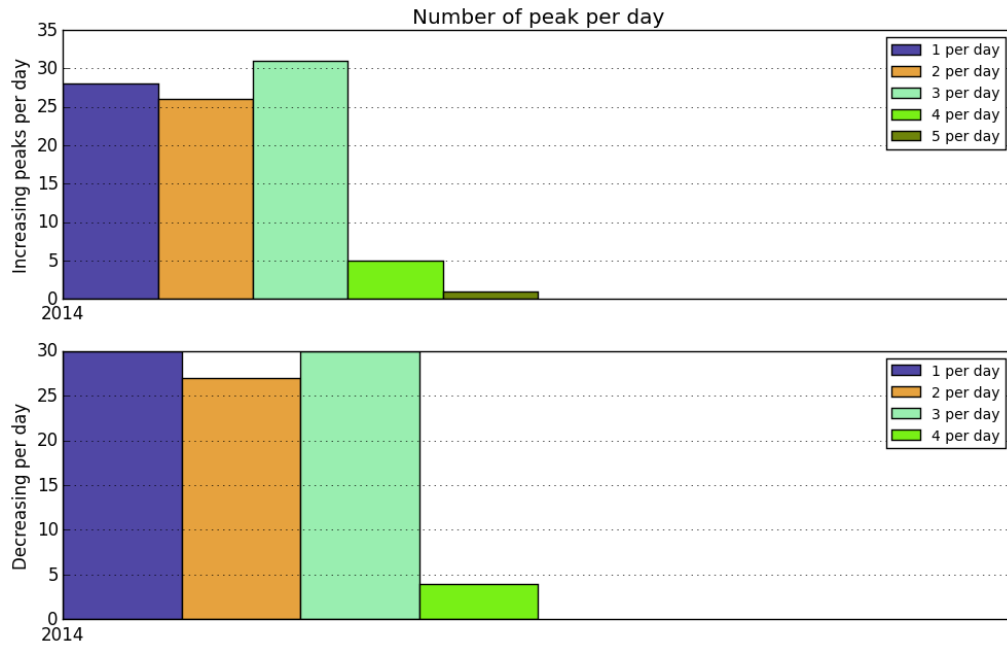


Figura A7.68 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

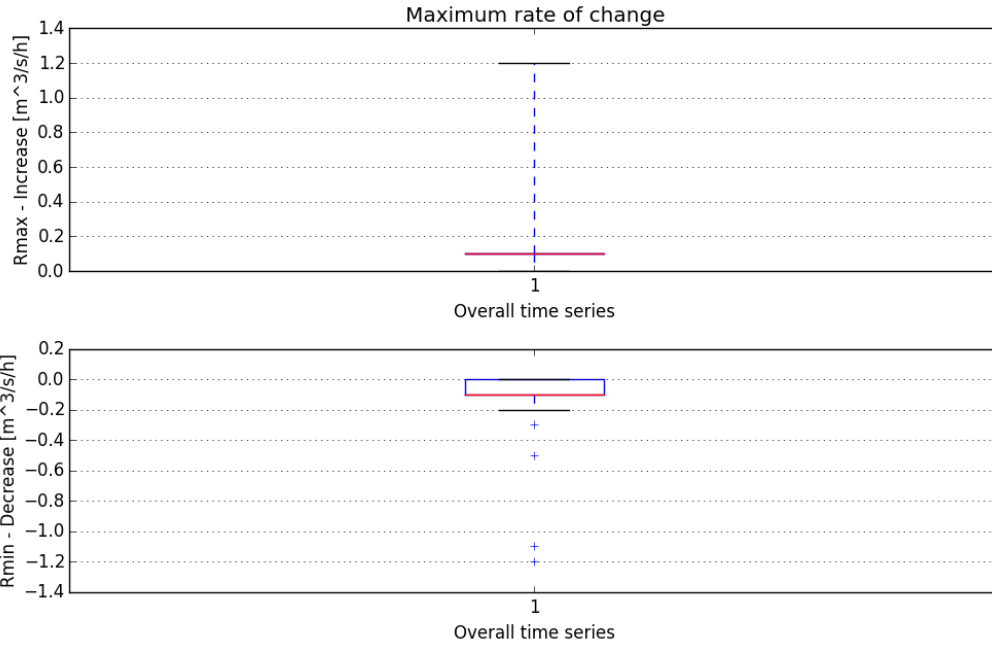


Figura A7.69 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

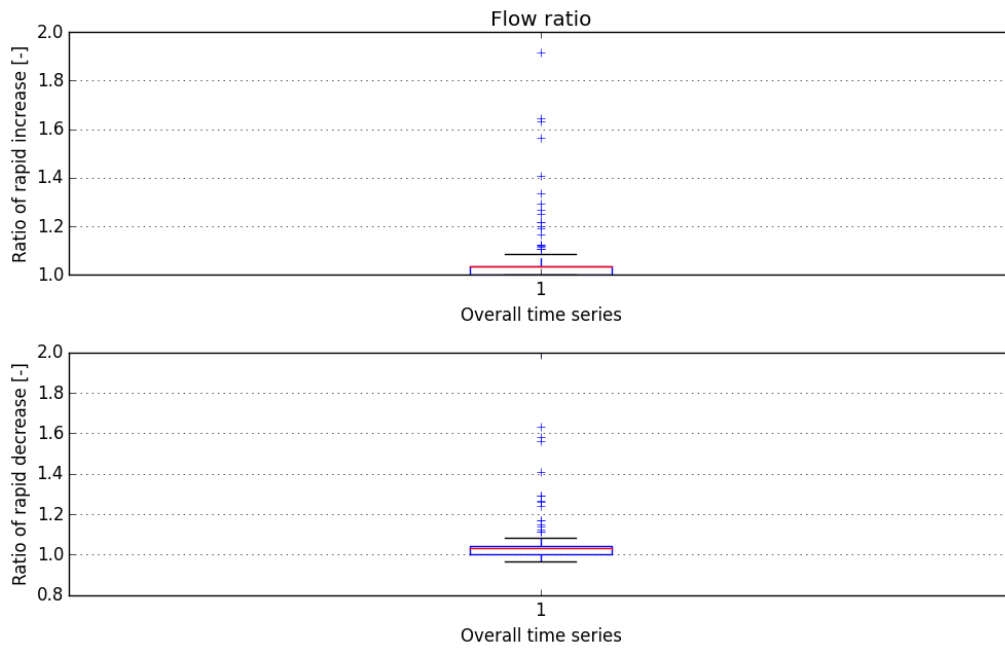


Figura A7.70 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 11

El comportamiento en este tramo se asemeja al de la Central 9: el caudal generado parece seguir un hidrograma natural, pero ocurre una serie de pulsos de fuerte magnitud y alta frecuencia. Falta un poco menos del 3% de los datos en esta serie de tiempo.

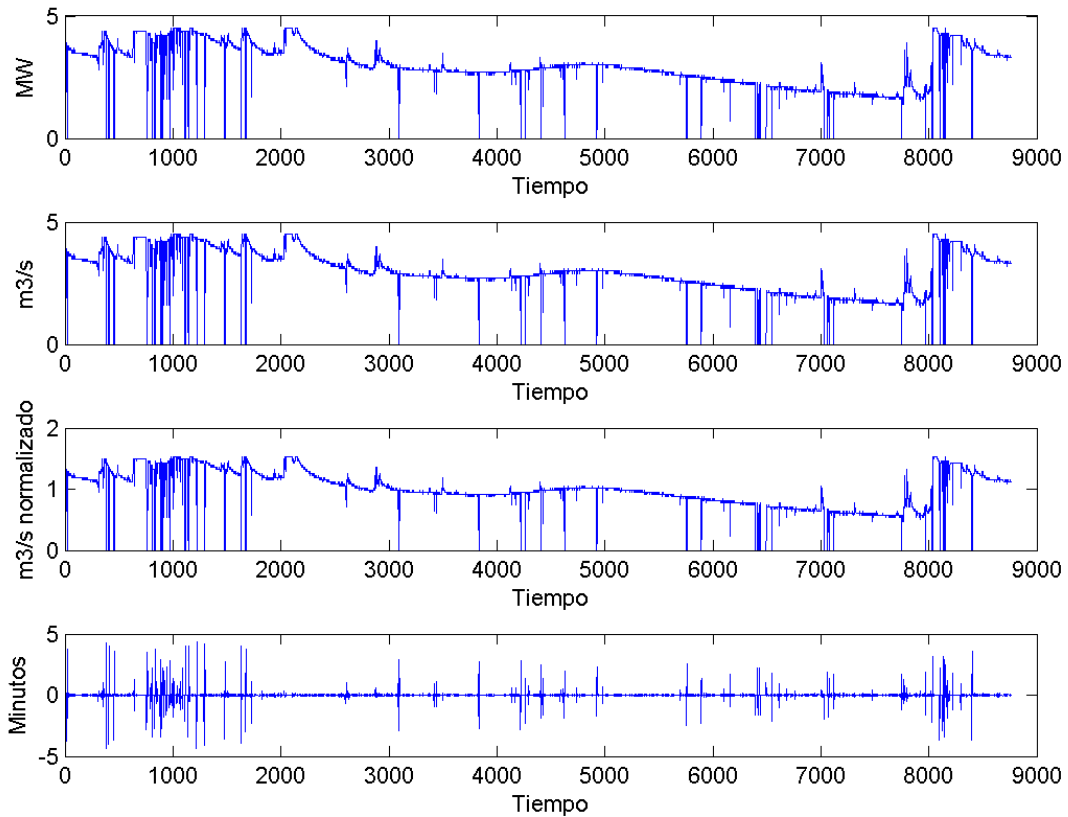


Figura A7.71 Comportamiento estimado en operación real de la Central 11

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Nuevamente, al haber largos períodos sin fluctuaciones, intercalados entre lapsos con abundantes y severos eventos de *peak*, COSH no fue capaz de elaborar la distribución de probabilidades acumuladas para las duraciones de los eventos.

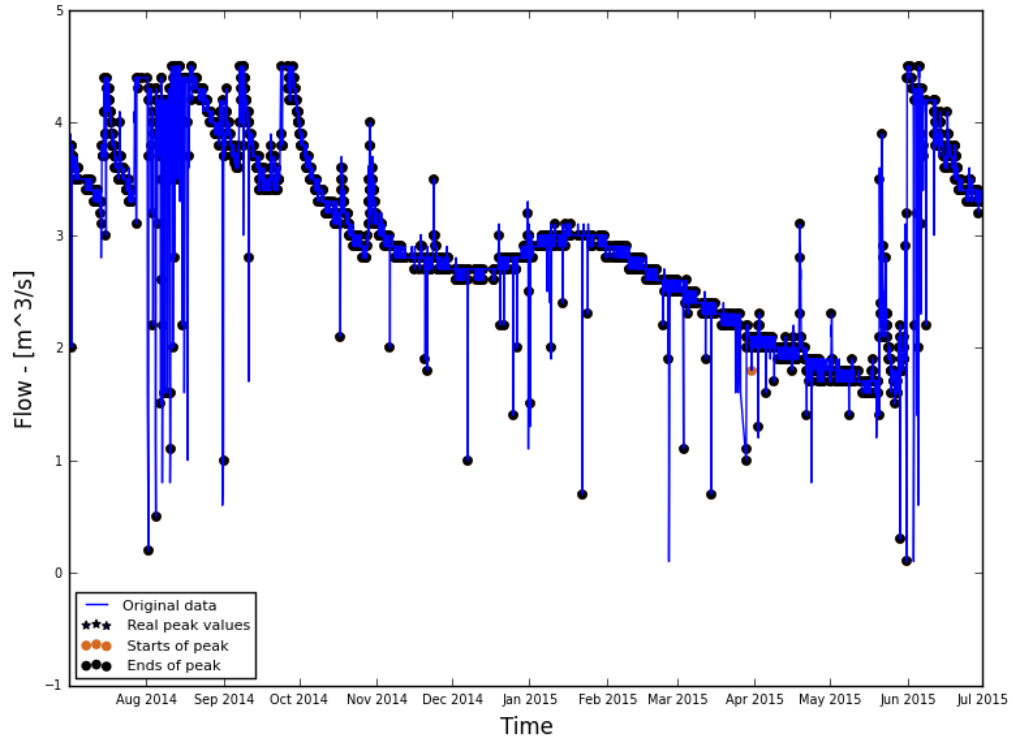


Figura A7.72 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

NO ARROJA GRAFICA COSH

Figura A7.73 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



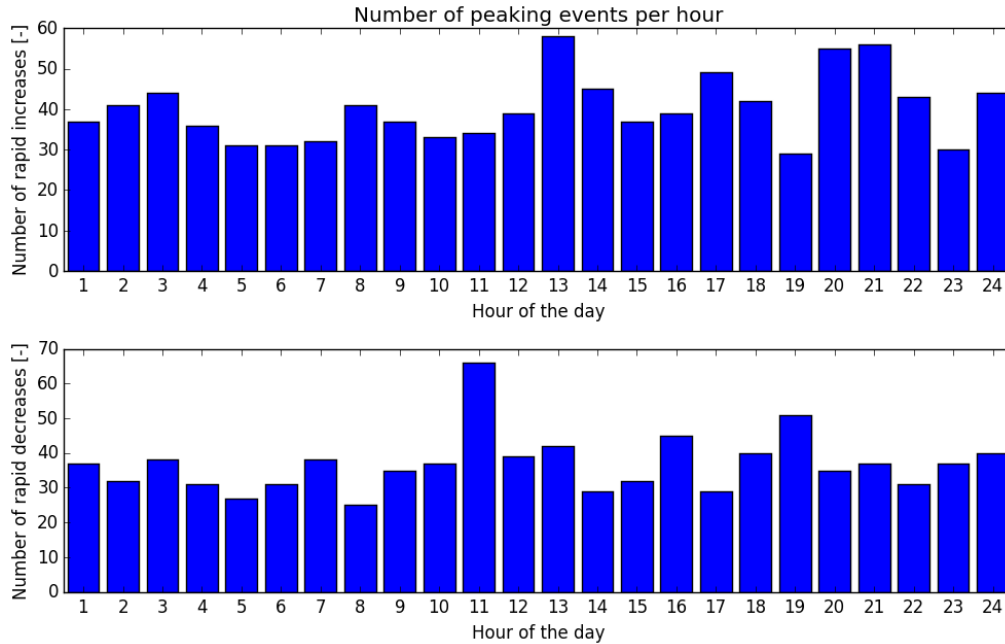


Figura A7.74 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

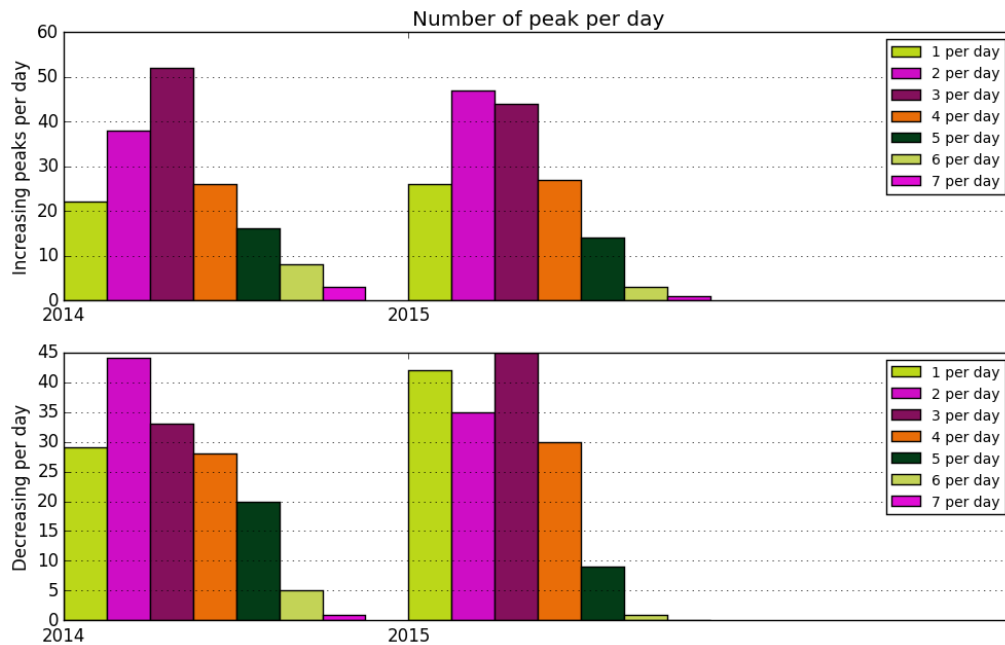


Figura A7.75 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

No se observa claramente que hayan horas del día con mayor frecuencia de eventos. Típicamente, hay tres eventos diarios de subida.

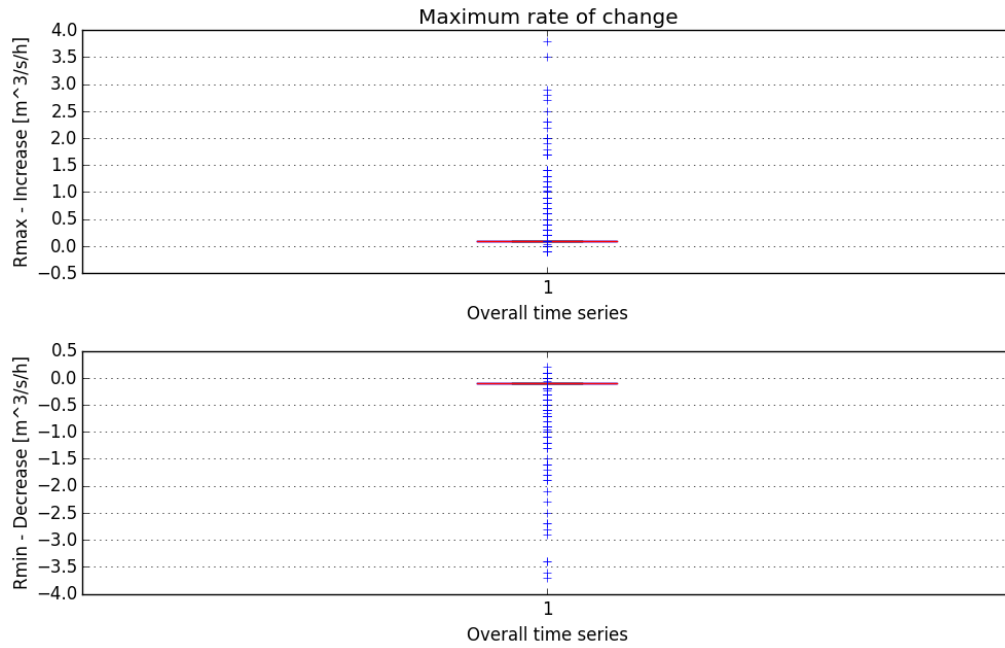


Figura A7.76 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

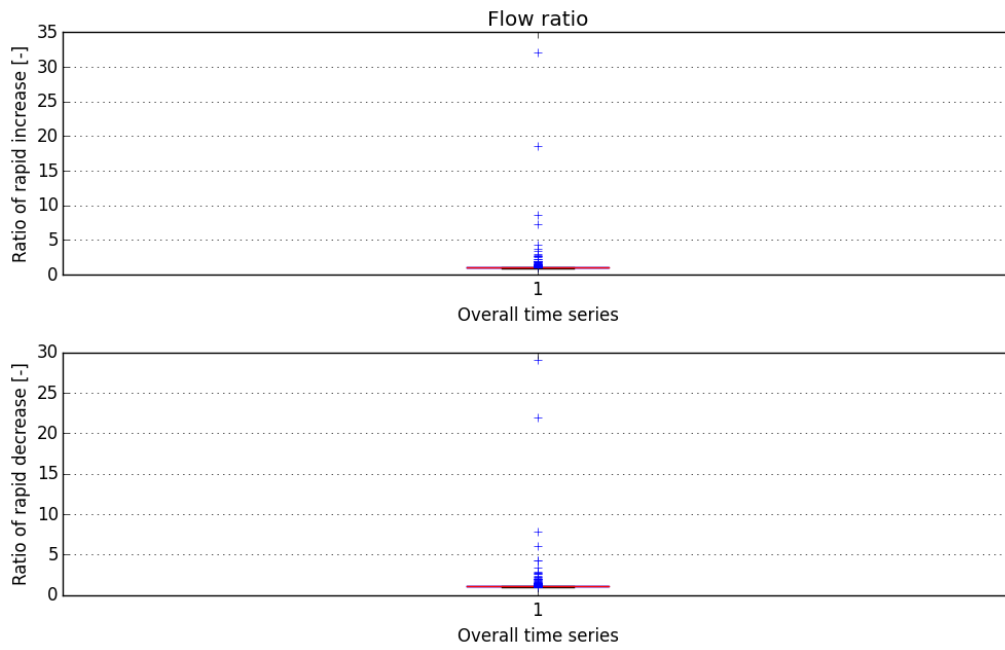


Figura A7.77 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 12

Esta central tiene un comportamiento evidentemente artificial, pero que no se parece a ninguno de los vistos anteriormente: El caudal de generación sigue un hidrograma anual impuesto, pero con una alta frecuencia de eventos de *peaking*, de baja magnitud. En lo observado hasta ahora, corresponde sin dudas al hidrograma de generación más antropizado.

Sólo faltan 43 datos en las 8760 horas que componen el año, por lo que se trata de un buen registro.

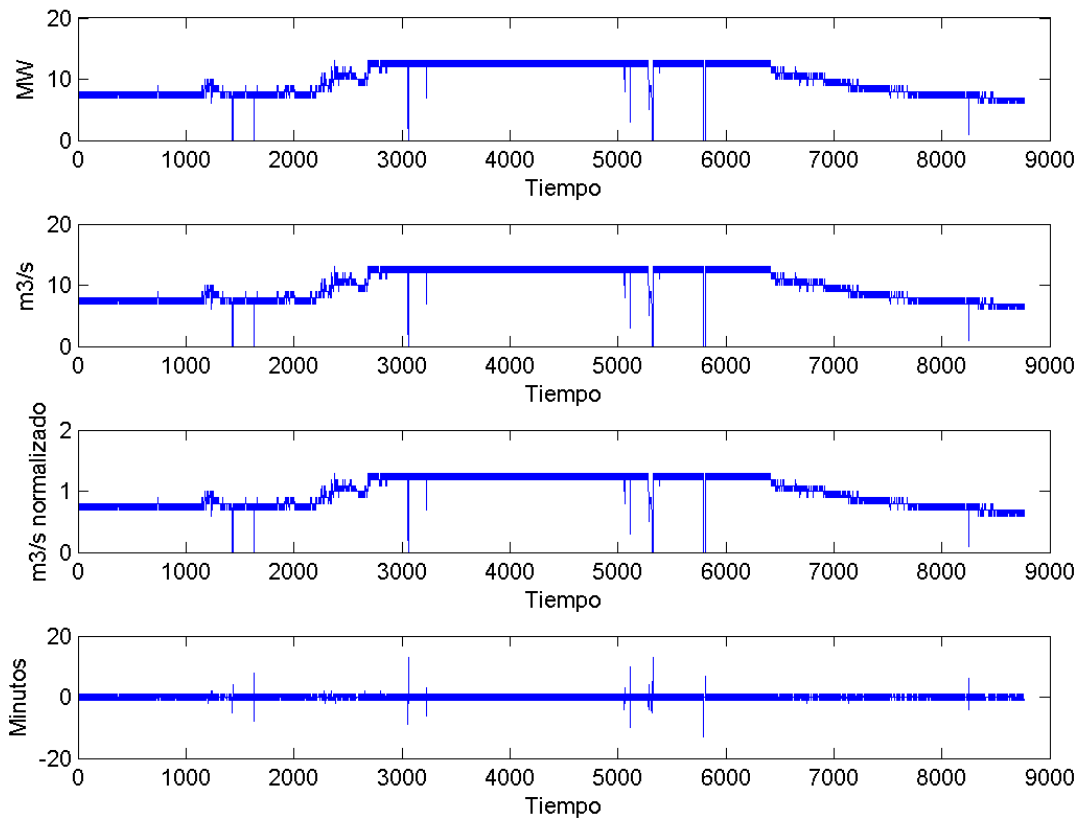


Figura A7.78 Comportamiento estimado en operación real de la Central 12  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Se tiene que alrededor de un 65% de los eventos de *peaking* (definido en este caso como llegar a un máximo, antes de descender) tiene duración instantánea, es decir, en 2/3 de los casos en que se alcanza un máximo, se baja inmediatamente a la hora siguiente. El 90% de los pulsos altos dura 4 horas o menos.

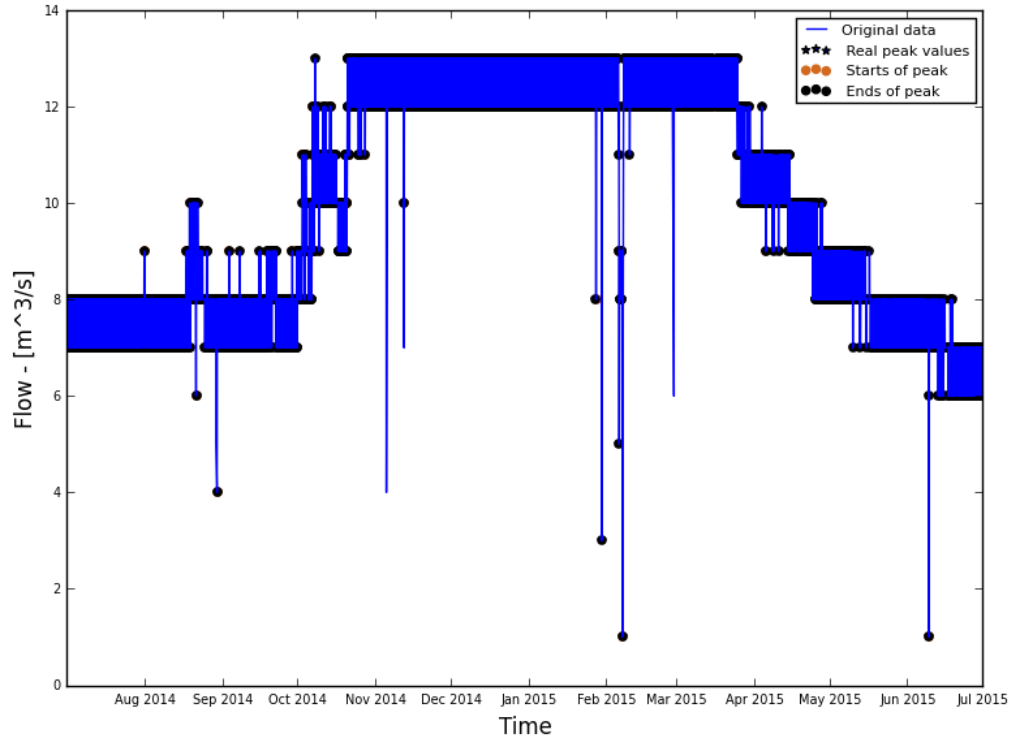


Figura A7.79 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

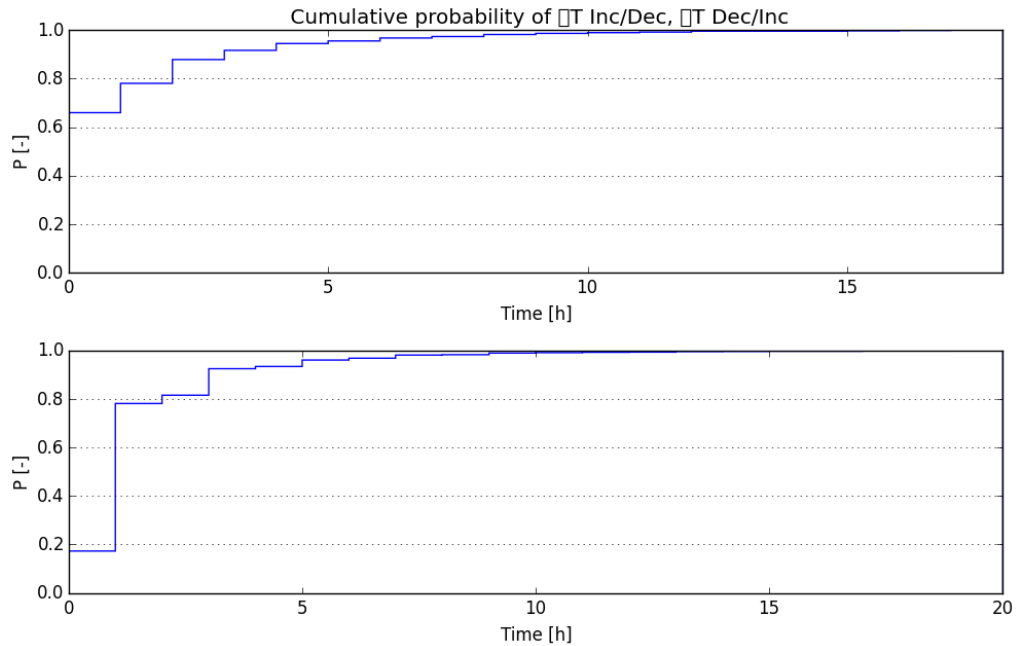


Figura A7.80 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

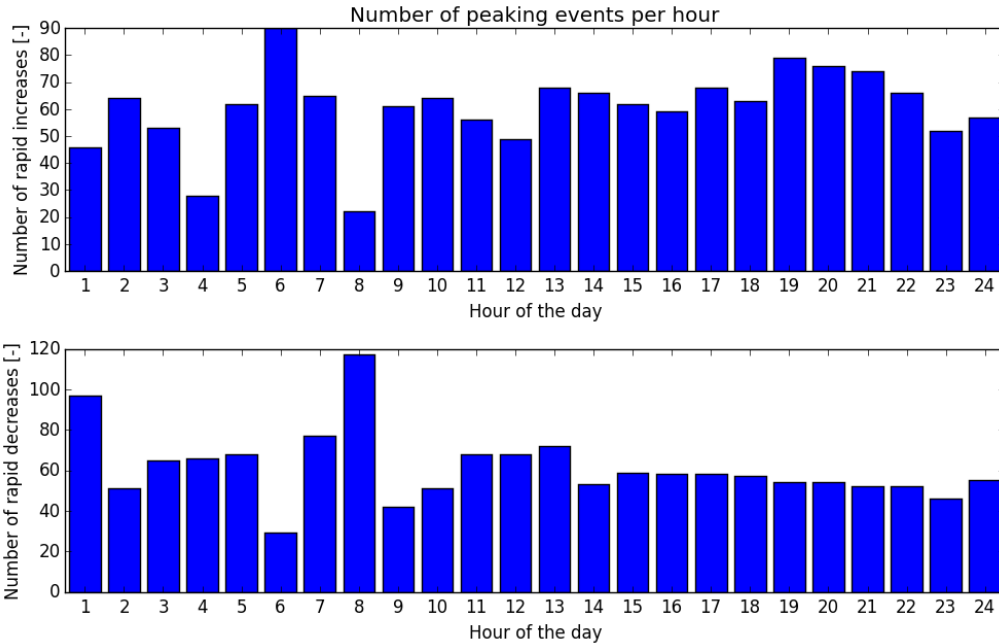


Figura A7.81 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

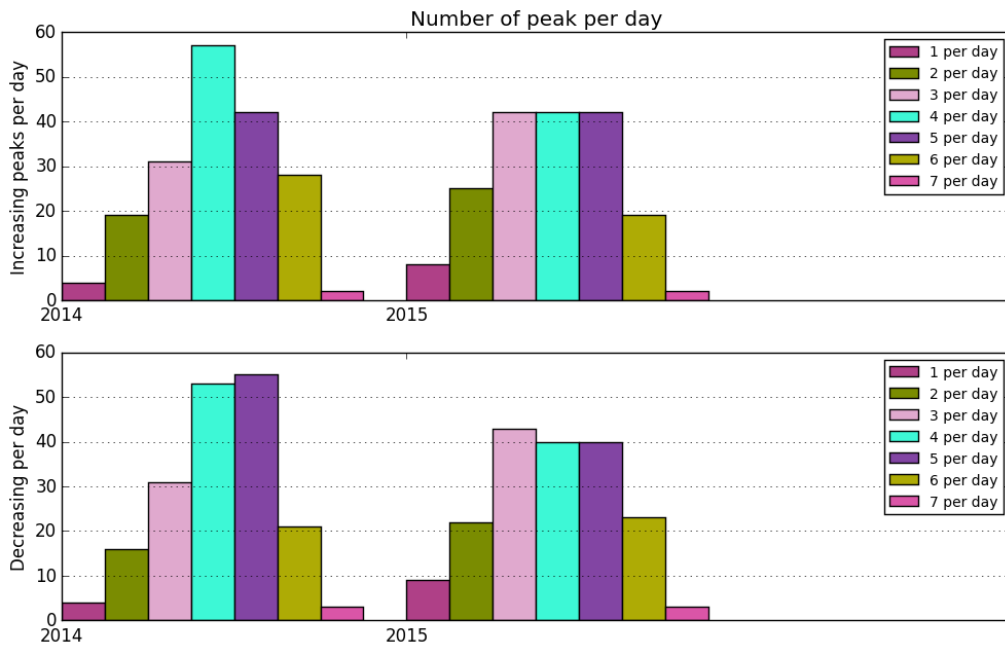


Figura A7.82 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Como se ha visto anteriormente para muchas otras centrales de pasada pequeñas, no hay un momento específico del día en que se concentren los eventos de *hydropeaking*. En el caso de esta central, los eventos tienen una frecuencia muy alta: la moda está en torno a los 3, 4 y 5 eventos diarios, pudiendo haber hasta 6 o 7 eventos.

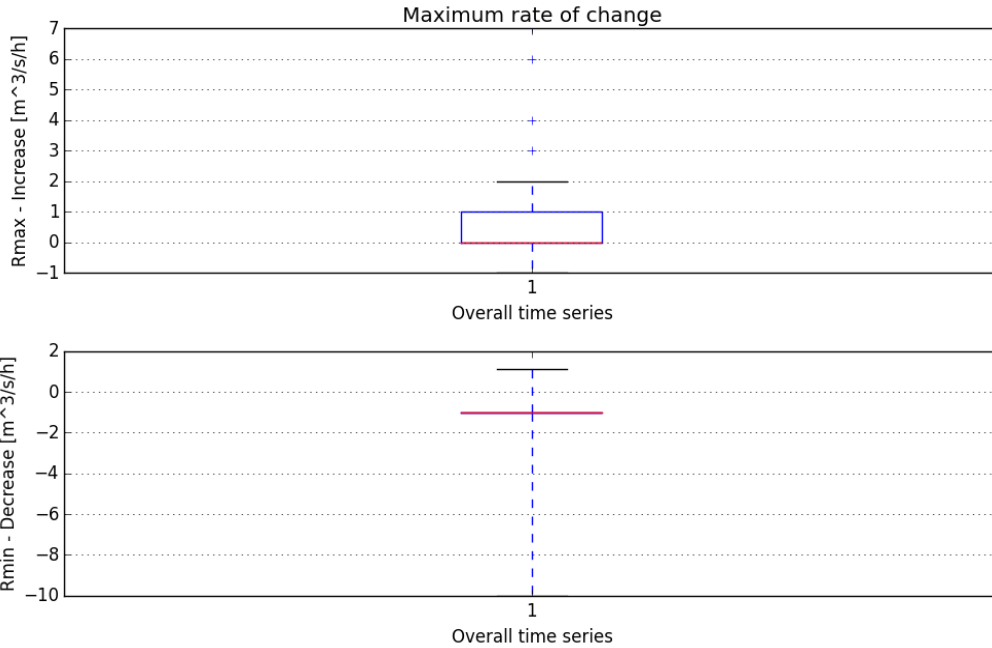


Figura A7.83 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

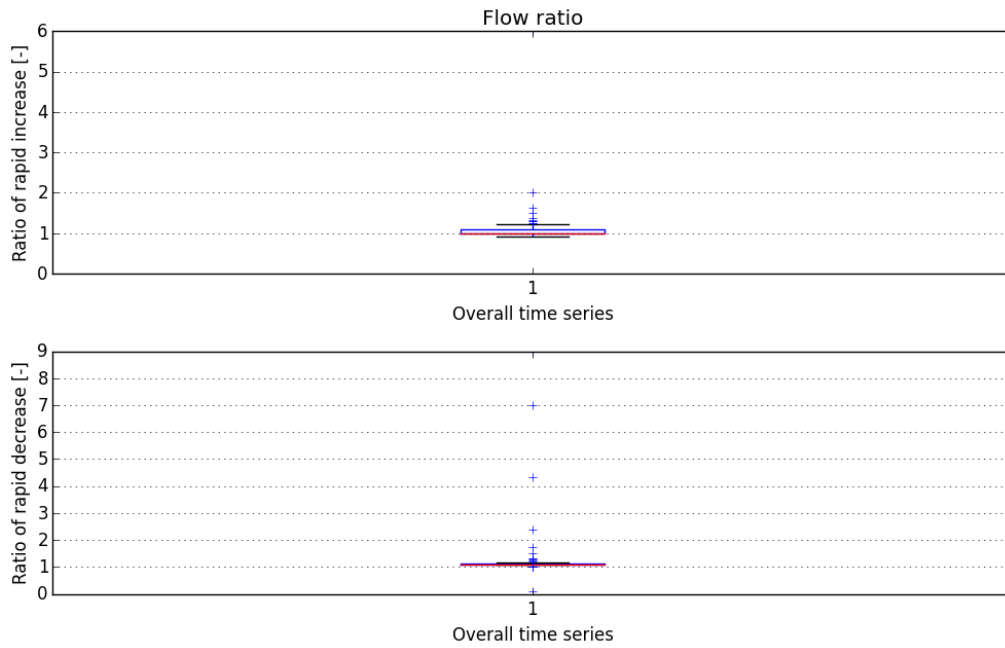


Figura A7.84 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 13

Este caso corresponde a una central de pasada más grande, ubicada en un río mediano a grande. Faltan 168 horas de datos en el año, por lo se trata de una buena serie de tiempo.

Con excepción de una serie de fluctuaciones fuertes, de corto plazo, que llegan a cero, las que pueden ocurrir en cualquier momento del año, se observa un hidrograma turbinado que sube y baja de manera regular a lo largo del año, sobre el cual ocurren pulsos de alta frecuencia, pero baja magnitud relativa.

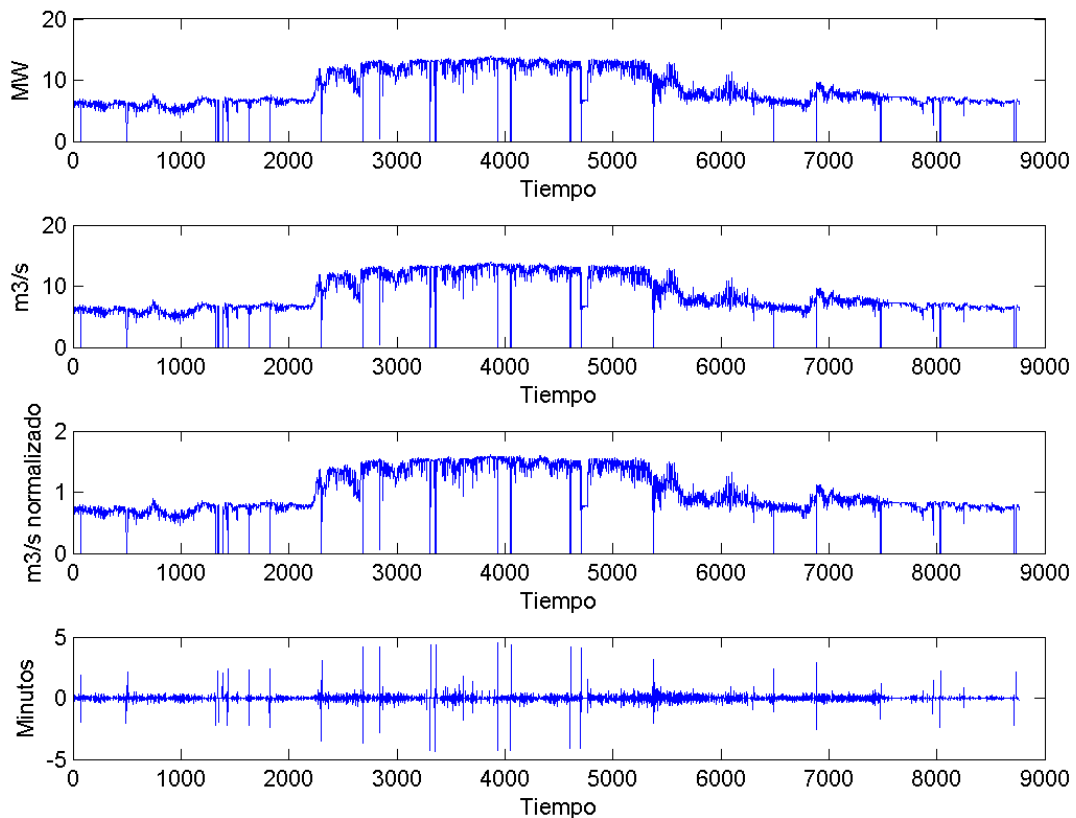


Figura A7.85 Comportamiento estimado en operación real de la Central 13  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

La mitad de los eventos de caudal alto son instantáneos, y un 90% de éstos dura 11 horas o menos. Por otra parte, los eventos de baja (los valles) tienen menor duración, ya que un 90% de éstos duran 6 horas o menos.

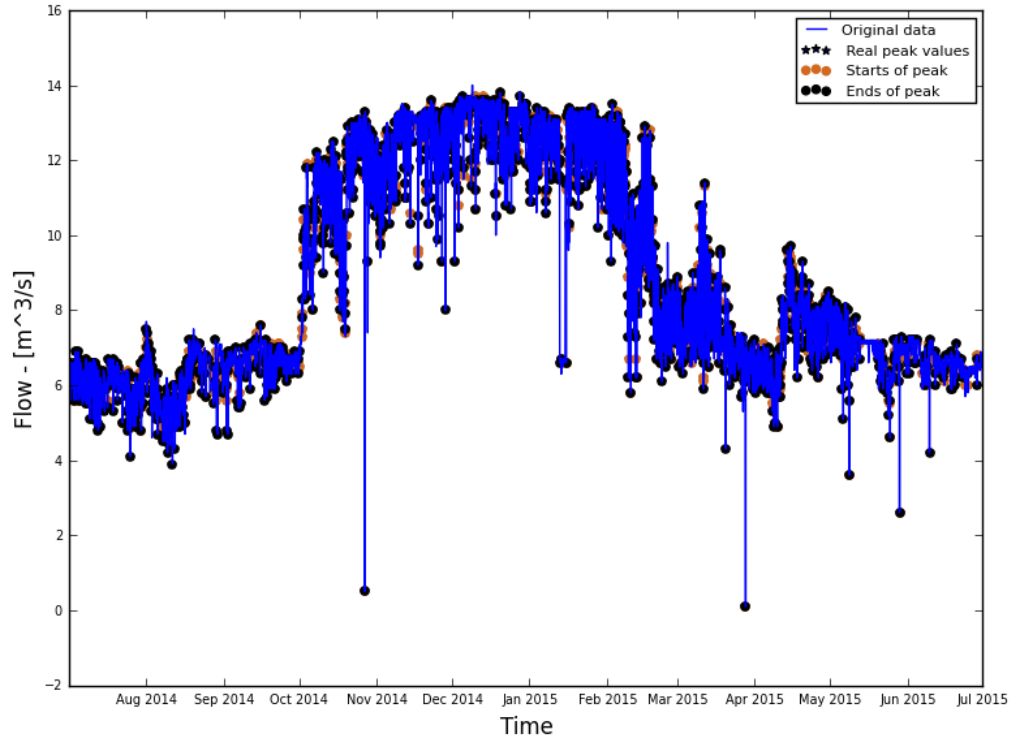


Figura A7.86 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

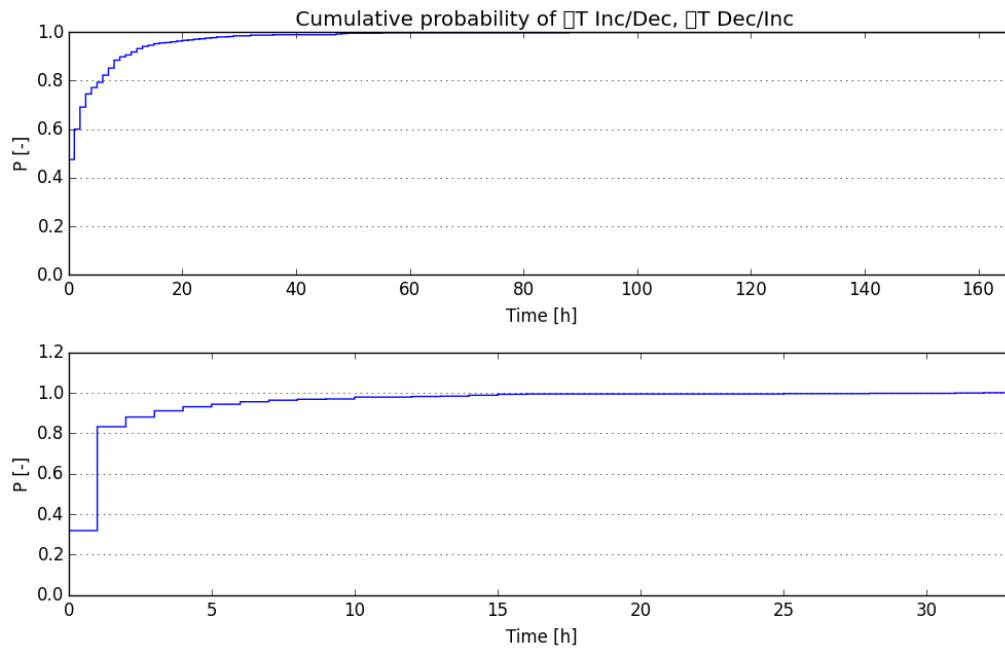


Figura A7.87 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



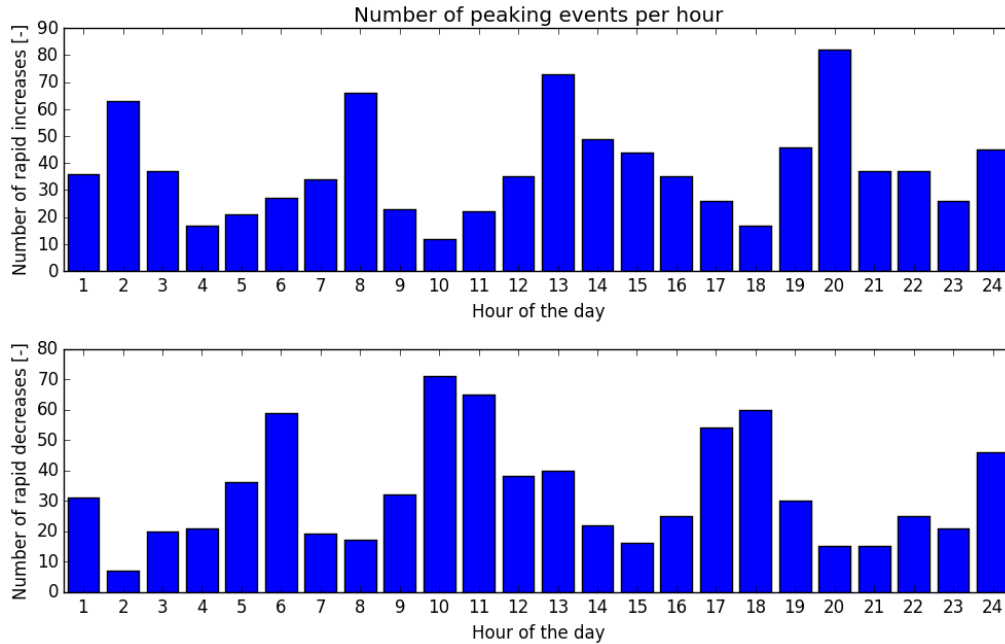


Figura A7.88 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

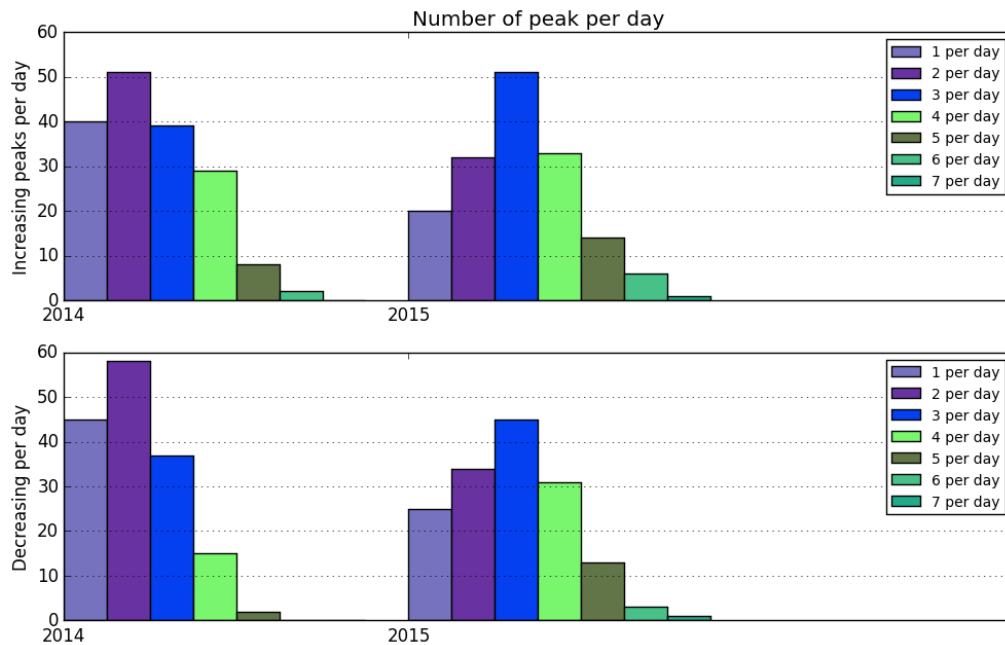


Figura A7.89 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Esta central cercana a Santiago muestra un interesante patrón temporal: ocurren *peaks* de subida y de bajada con una frecuencia típica de 6 horas. Los de subida están centrados en torno a las 2, las 8, las 13 y las 20 horas, mientras que los de bajada lo hacen en las horas intermedias. La moda es que ocurran dos o tres eventos diarios, pero la probabilidad de tener cuatro es aún bastante alta.

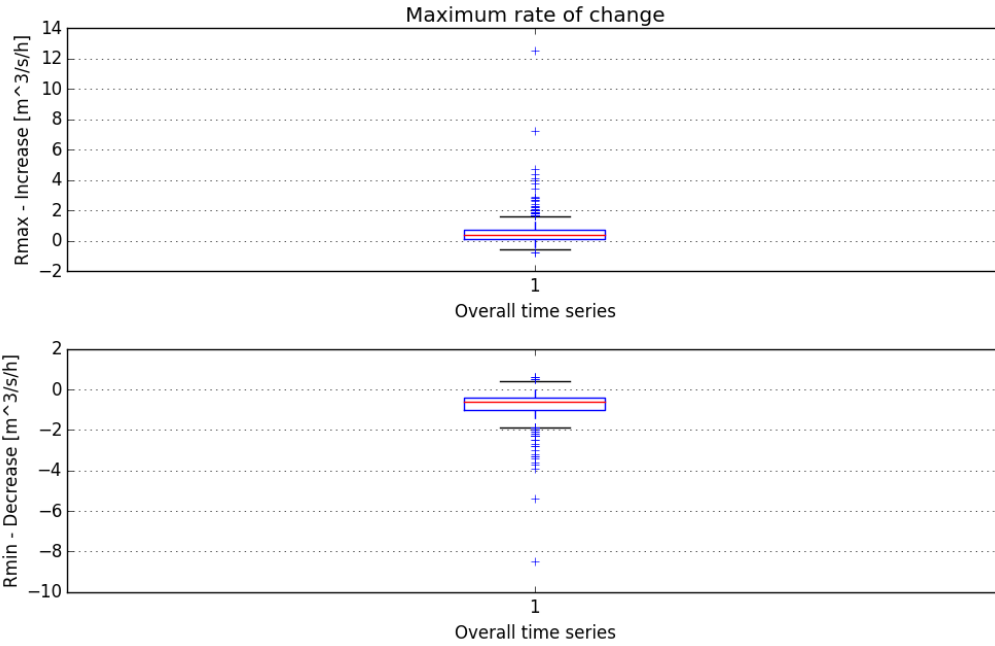


Figura A7.90 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

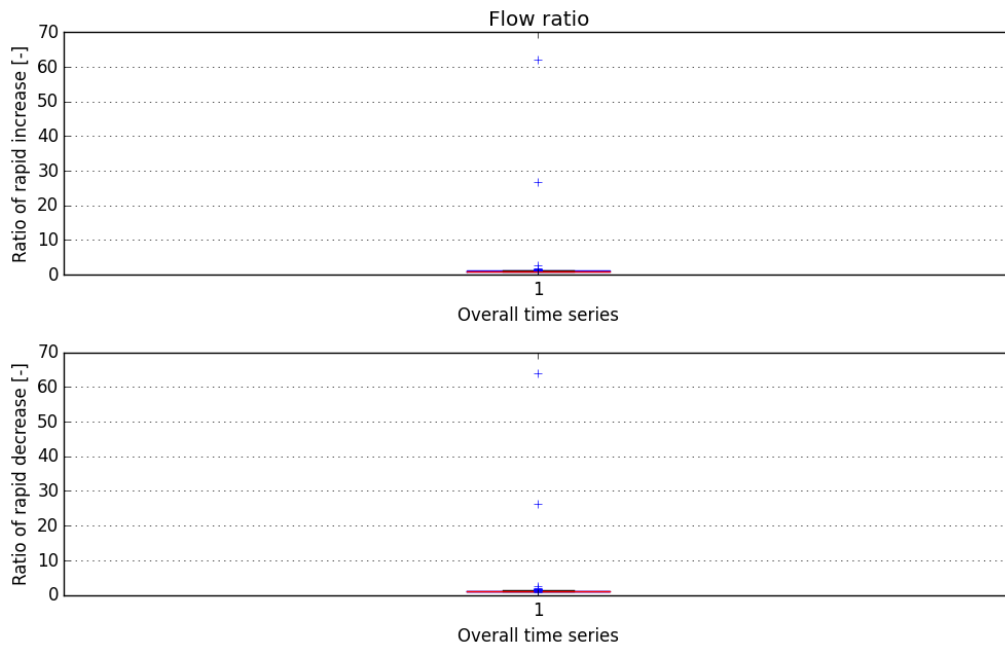


Figura A7.91 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 14

Faltan 561 datos horarios en esta serie de tiempo, correspondientes al 6.4% de los valores.

En esta señal se observan tres elementos: se sigue el hidrograma natural dentro del rango técnico, pero ocurren algunas fluctuaciones de gran magnitud, excepto durante los meses de verano. Si no fuera por estos eventos bruscos y por el máximo técnico de generación, este hidrograma turbinado se asemejaría a un régimen hidrológico natural.

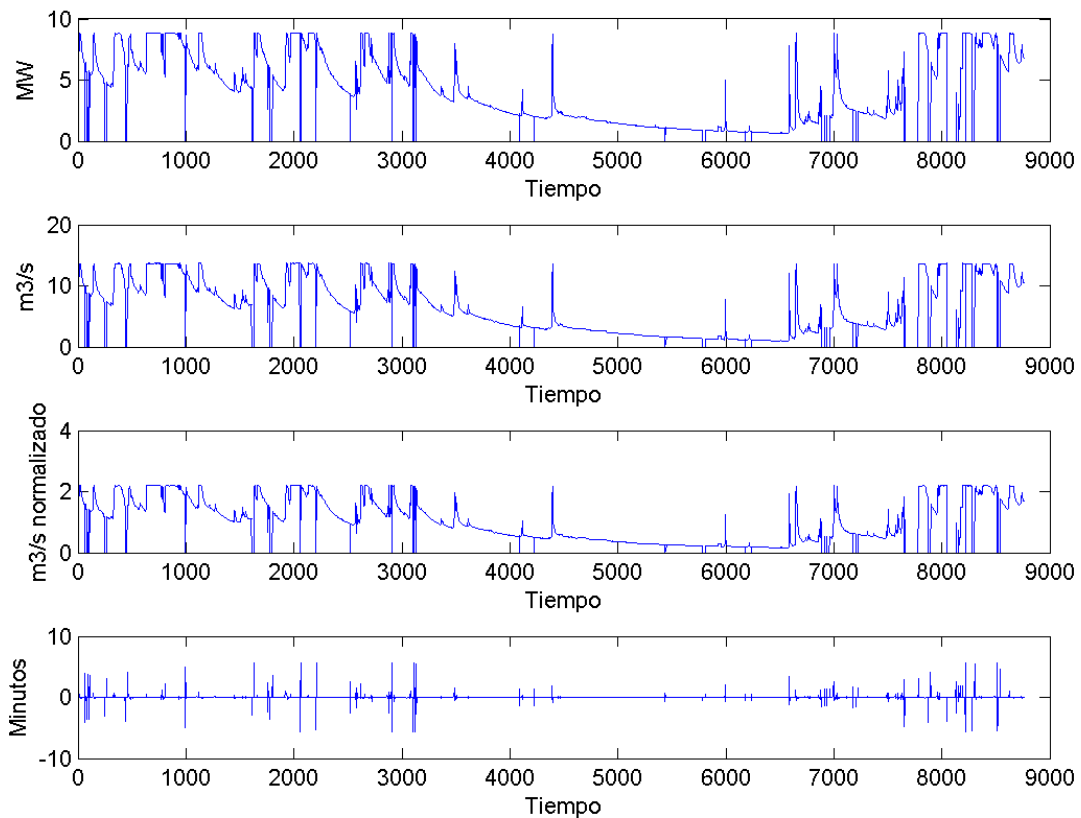


Figura A7.92 Comportamiento estimado en operación real de la Central 14

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Más de la mitad de los pulsos altos son instantáneos, y un 90% de éstos duran 4 horas o menos. Por otra parte, como se observa del hidrograma, los pulsos de valle tienen mayor duración.

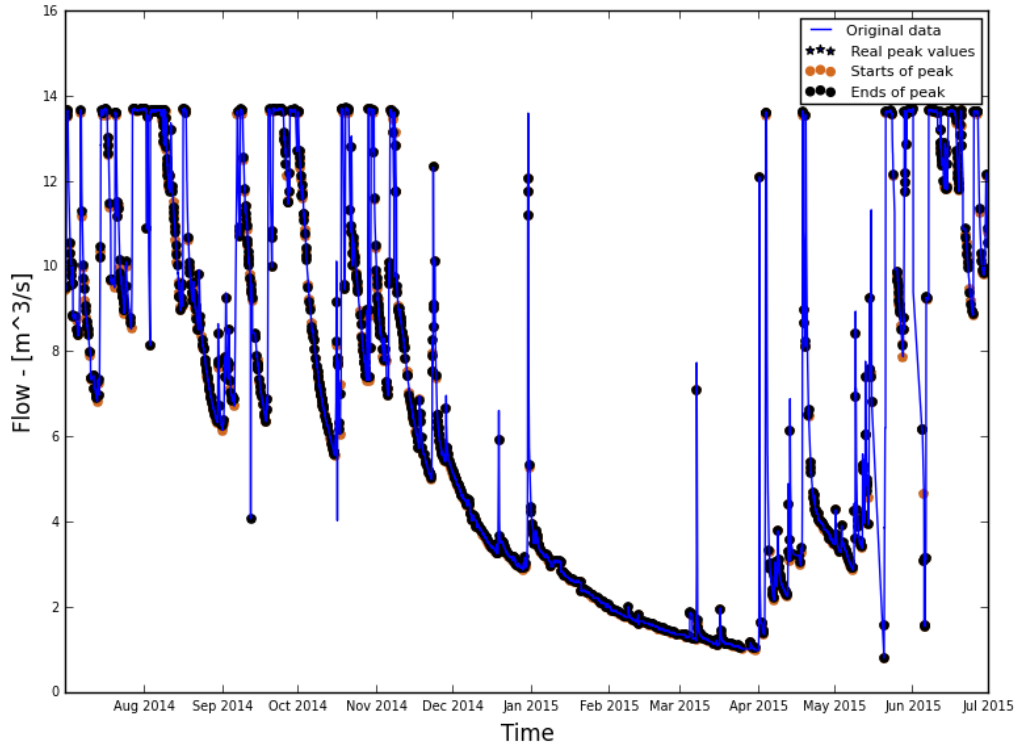


Figura A7.93 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

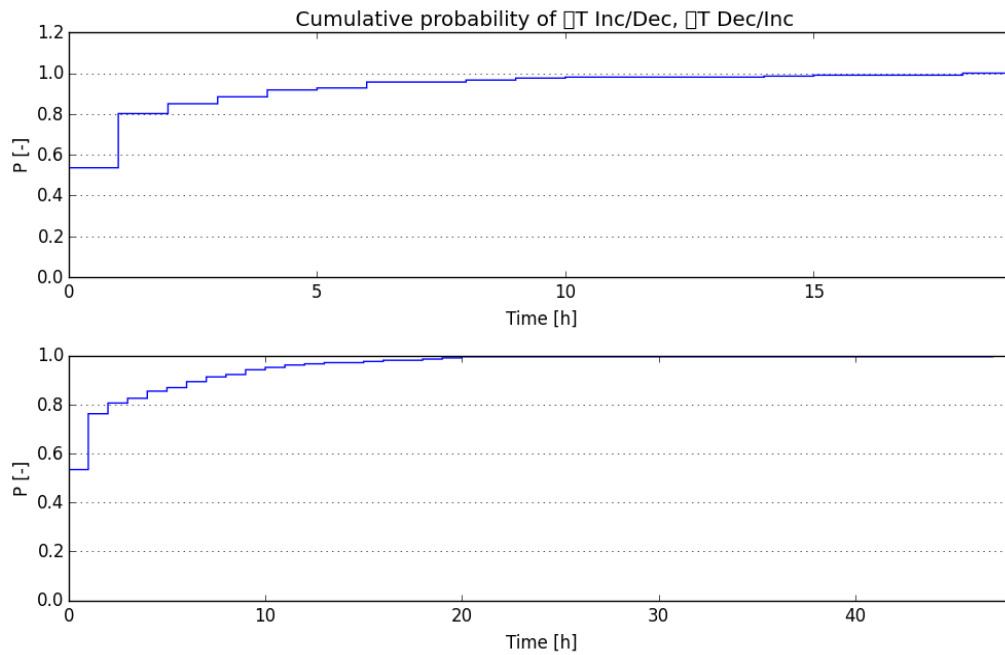


Figura A7.94 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

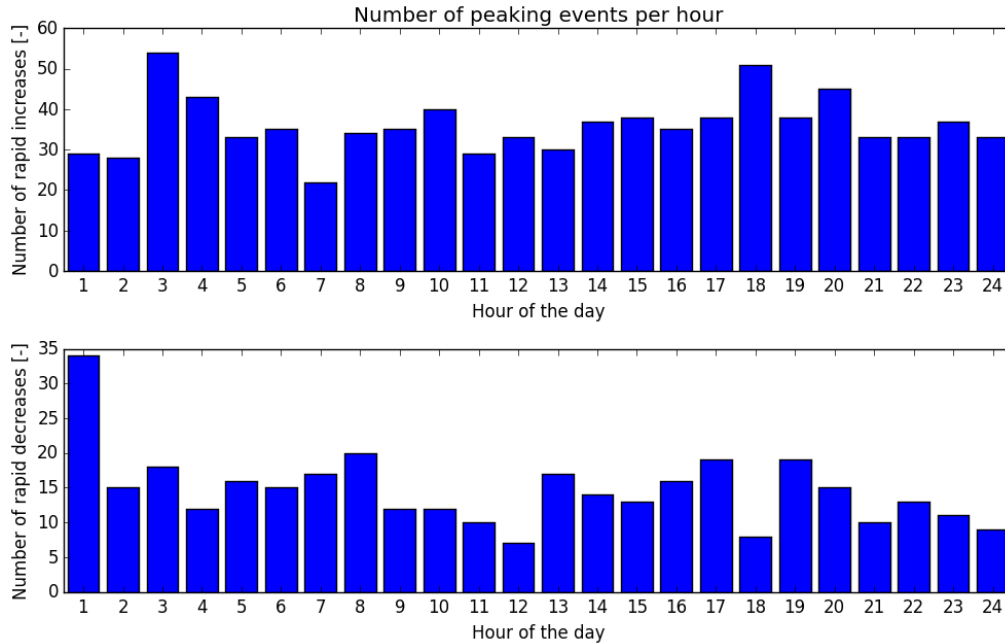


Figura A7.95 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

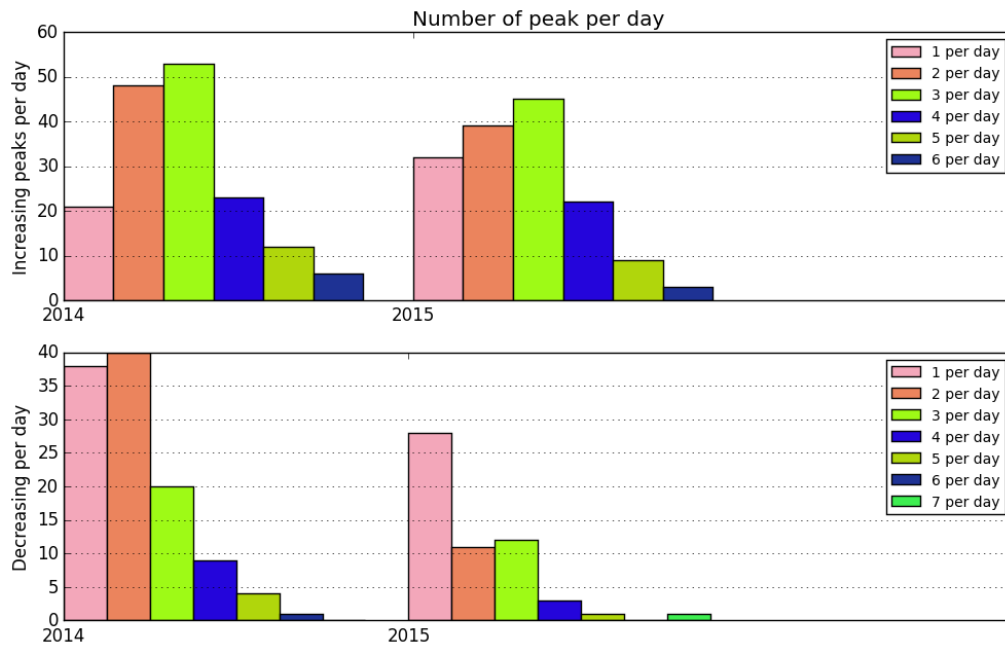


Figura A7.96 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de *peaking* de subida, típicamente dos o tres al día, pueden ocurrir en cualquier hora, mientras que los de bajada se concentran justo pasado la media noche.

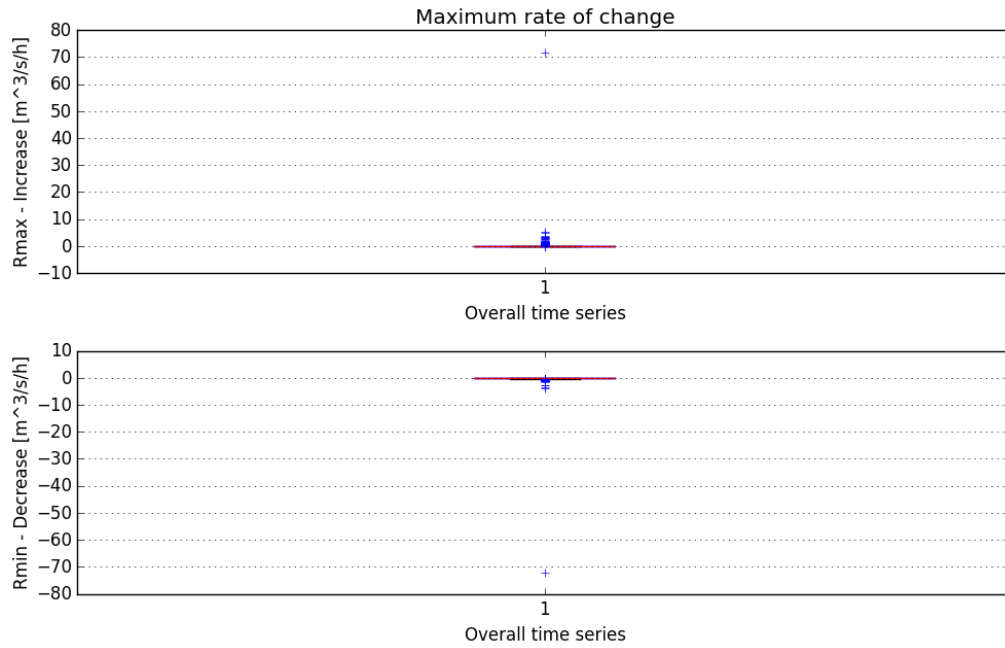


Figura A7.97 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

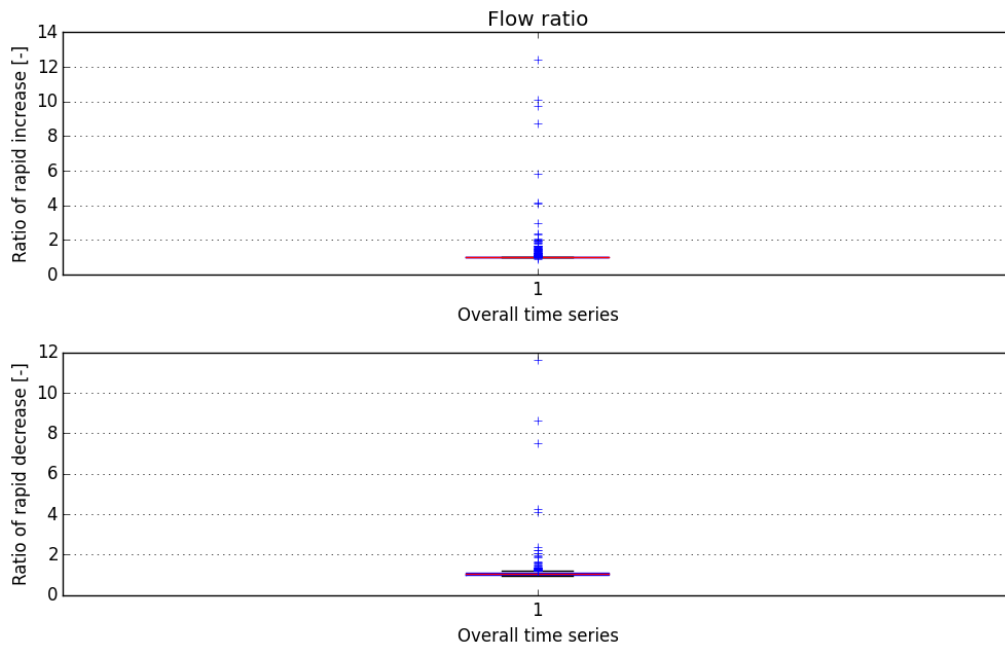


Figura A7.98 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 15

En esta serie de tiempo falta cerca del 30% de los datos.

Se puede observar un comportamiento estacional muy marcado: en los meses de invierno y comienzos de la primavera, se tiene fluctuaciones con fuerte magnitud y frecuencia. Luego, al finalizar la primavera, y durante el verano y otoño, si bien siguen ocurriendo claros eventos de *peaking*, éstos son menos frecuentes y tienen una magnitud relativa muy menor en comparación con los iniciales.

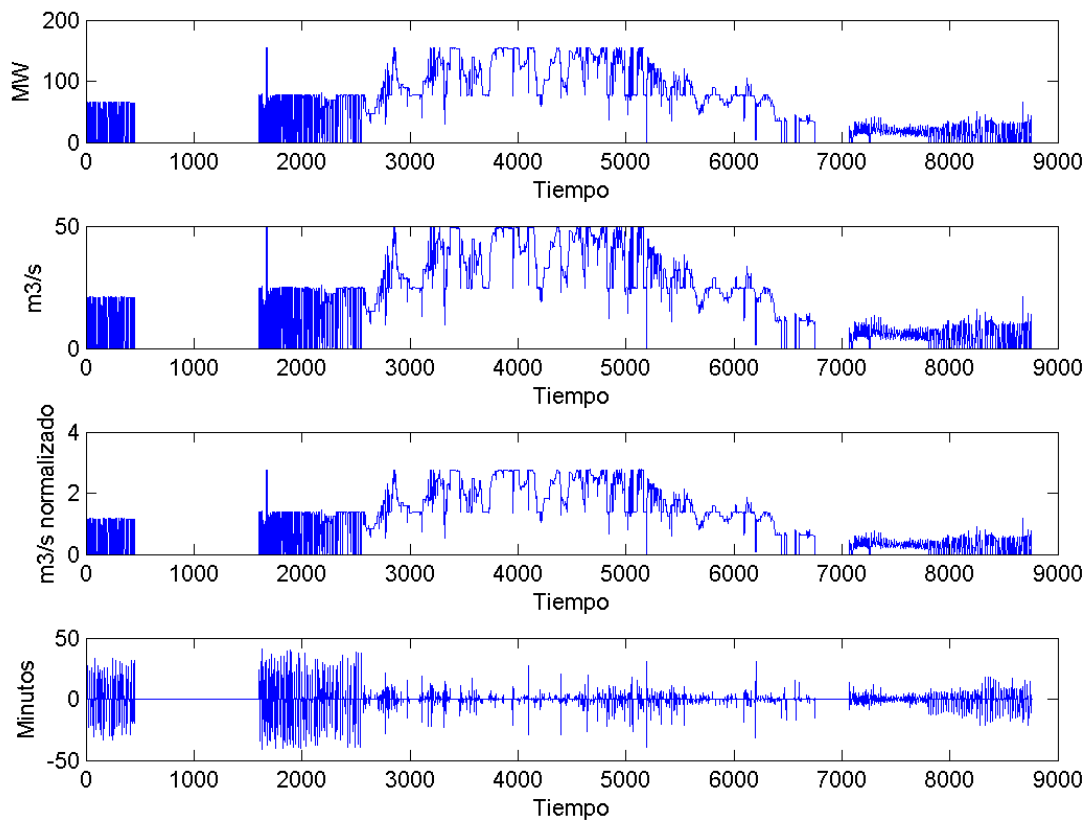


Figura A7.99 Comportamiento estimado en operación real de la Central 15  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El 90% de los eventos de caudal alto dura 18 horas o menos, cifra que está en torno a las 11 horas para el caso de los eventos de baja (valles).

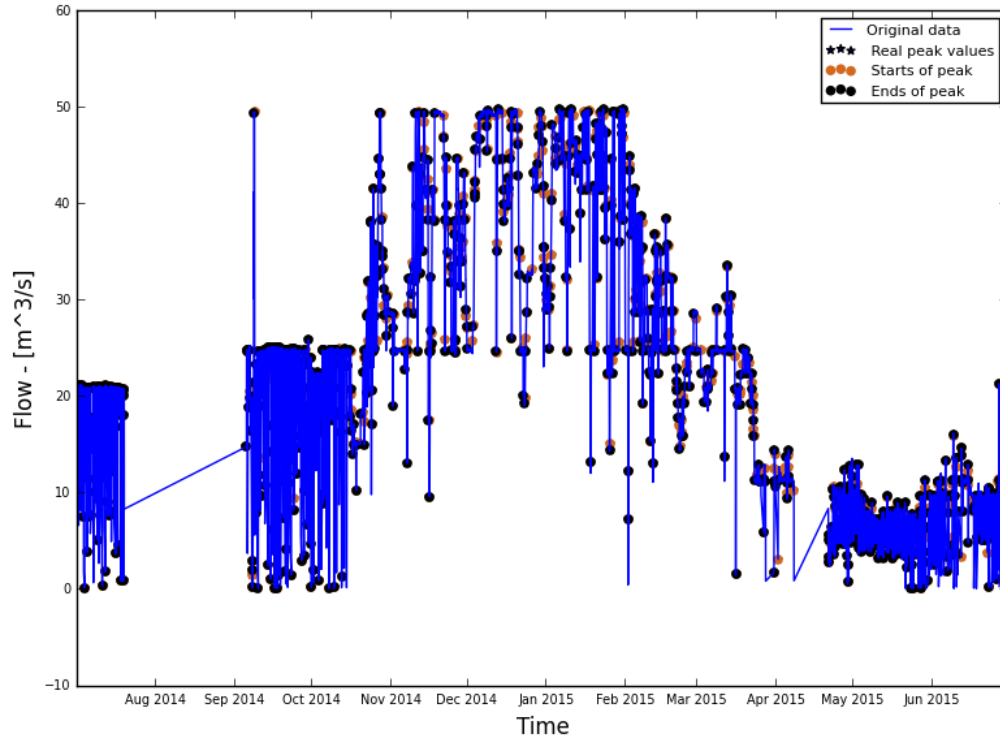


Figura A2.100 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

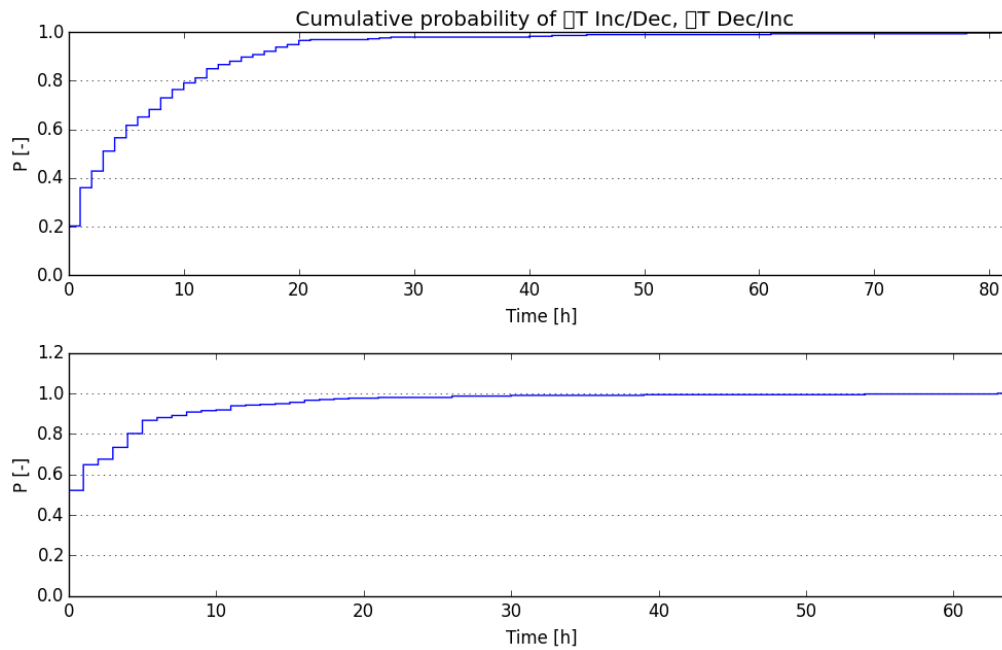


Figura A7.101 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



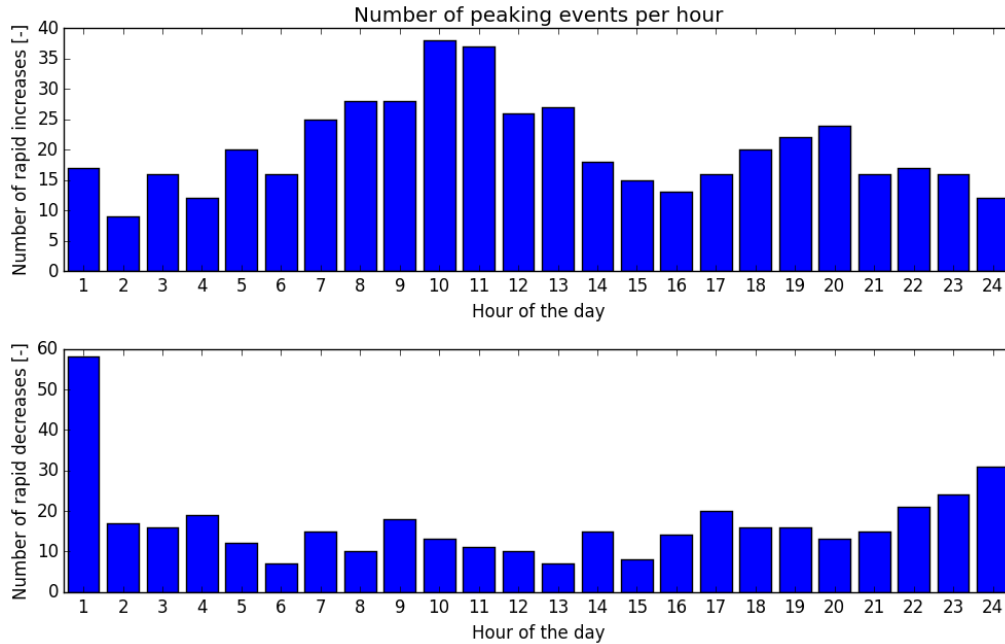


Figura A7.102 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

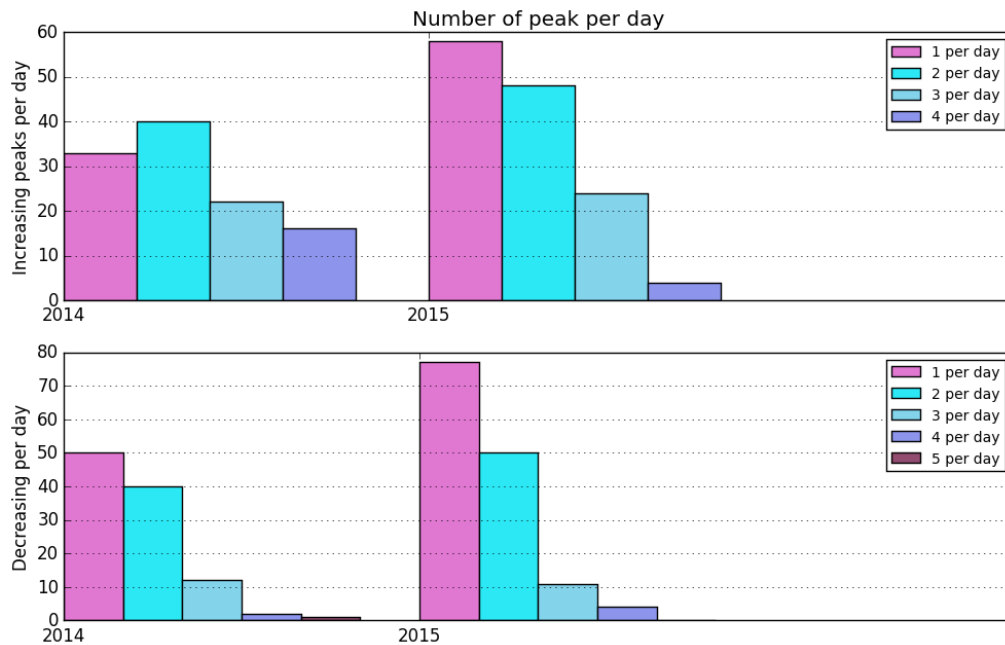


Figura A7.103 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida brusca se concentran entre las 7 y las 13, con un *peak* a las 10 y 11 de la mañana, y se tiene un *peak* secundario en torno a las 20 horas. Los eventos de bajada ocurren en cualquier momento, pero con énfasis entre las 22 y la 1 de la madrugada. Típicamente se tiene uno o dos eventos diarios.

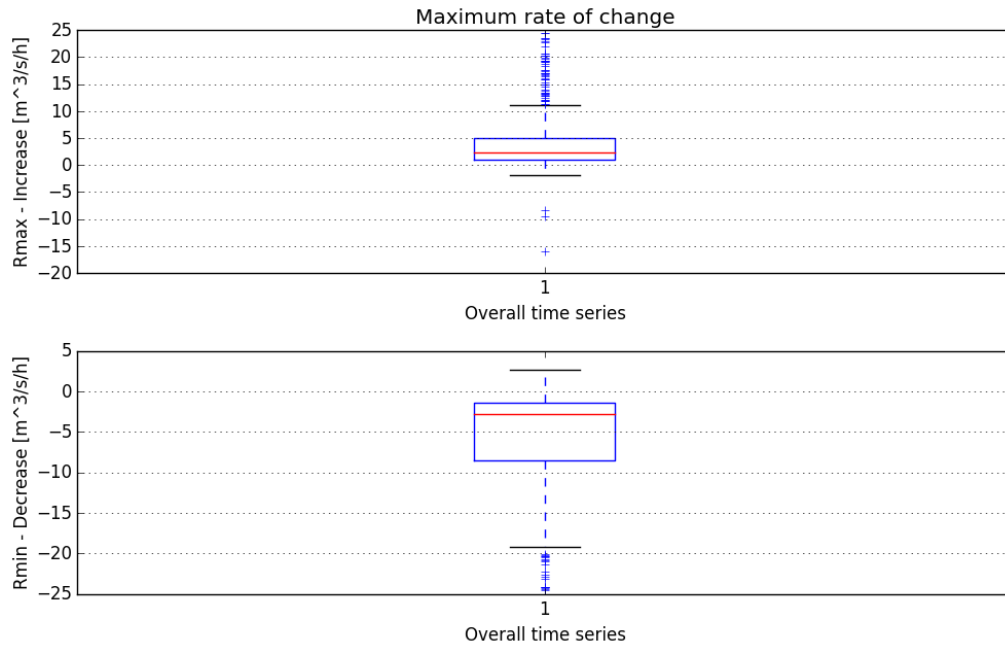


Figura A7.104 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

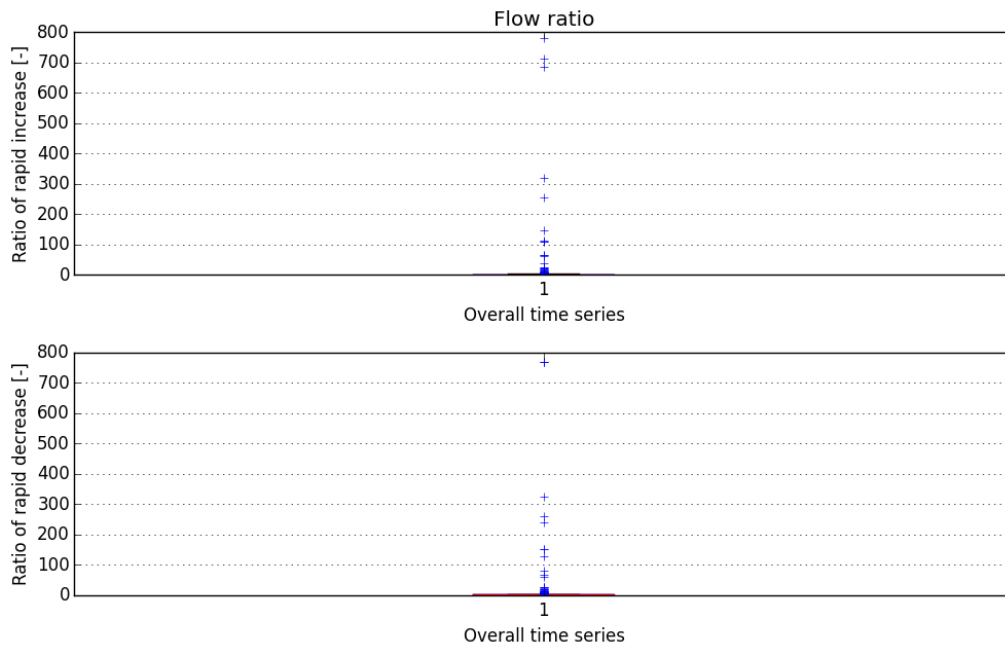


Figura A7.105 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 16

En este caso, lamentablemente, falta exactamente la mitad de los datos, por lo cual es difícil extraer conclusiones válidas. Se observa claramente, sin embargo, la ocurrencia de *hydropeaking*, con fluctuaciones de fuerte magnitud, que tienden a disminuir en época estival. No se sabe si esta central dejó de operar en los meses de verano y otoño, o bien si los datos faltan por algún otro motivo.

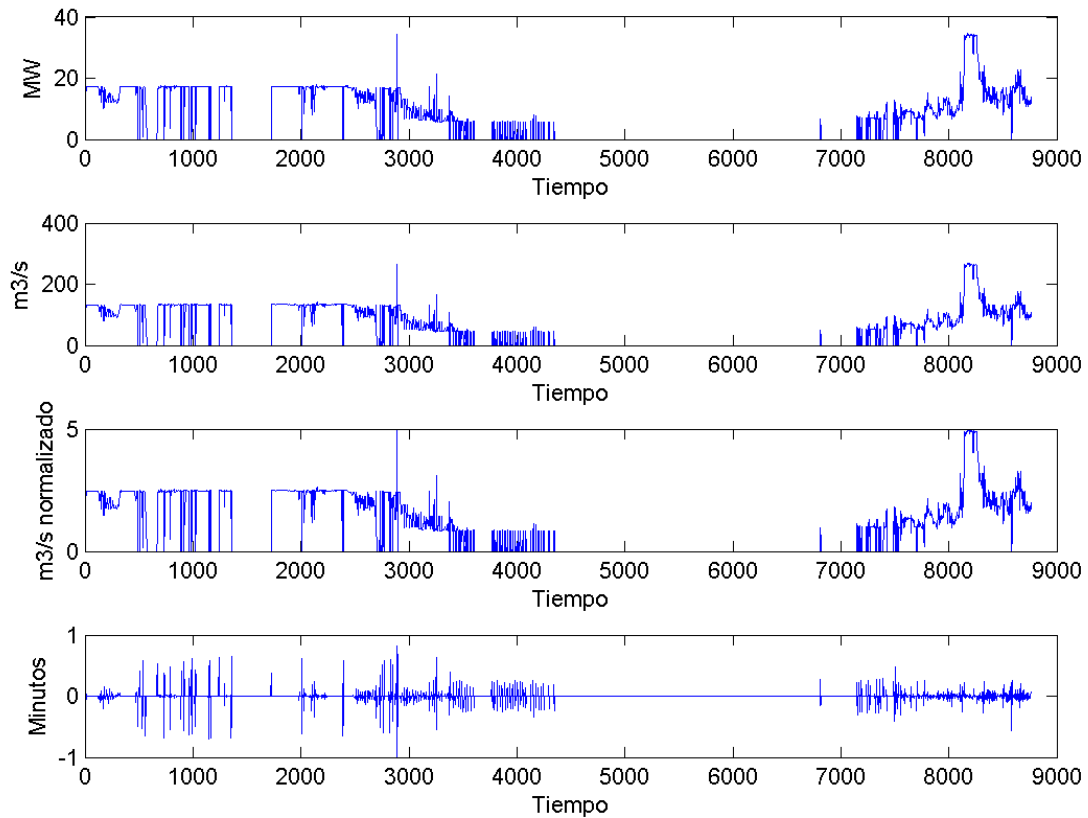


Figura A7.106 Comportamiento estimado en operación real de la Central 16

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

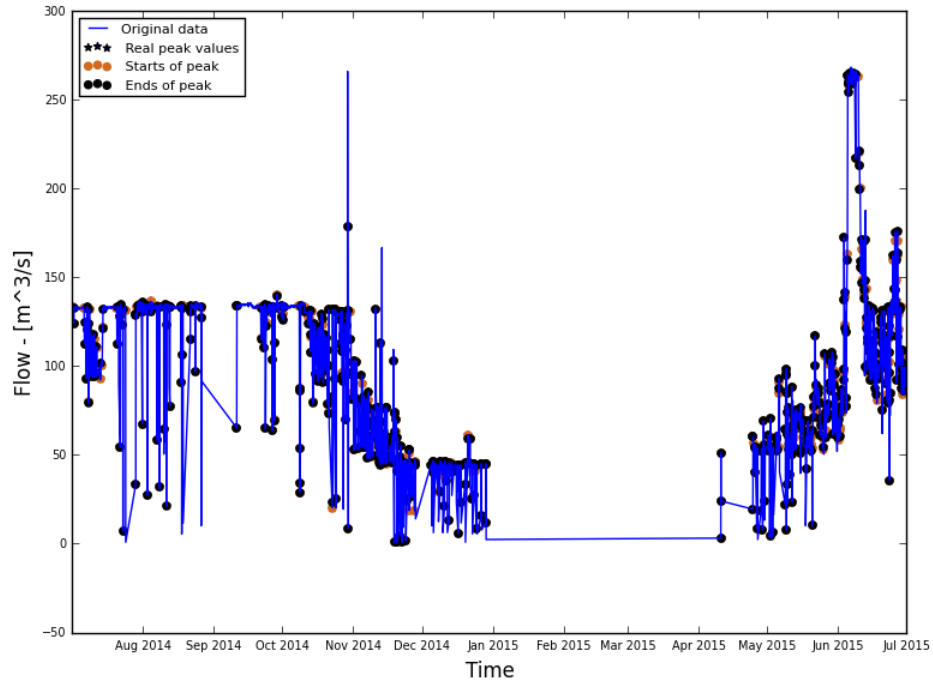


Figura A7.107 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

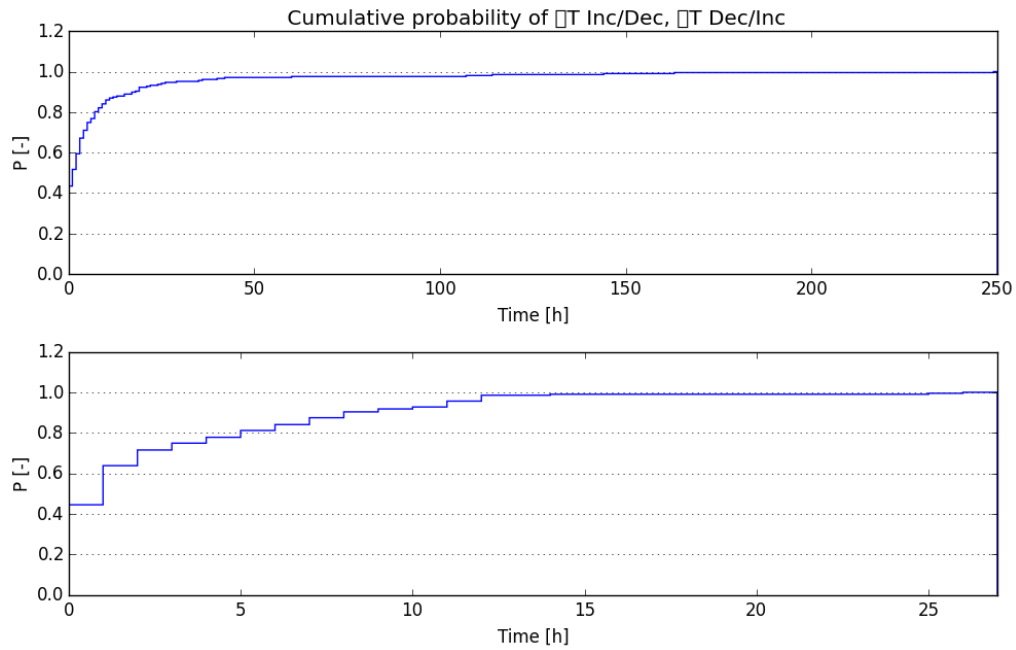


Figura A7.108 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

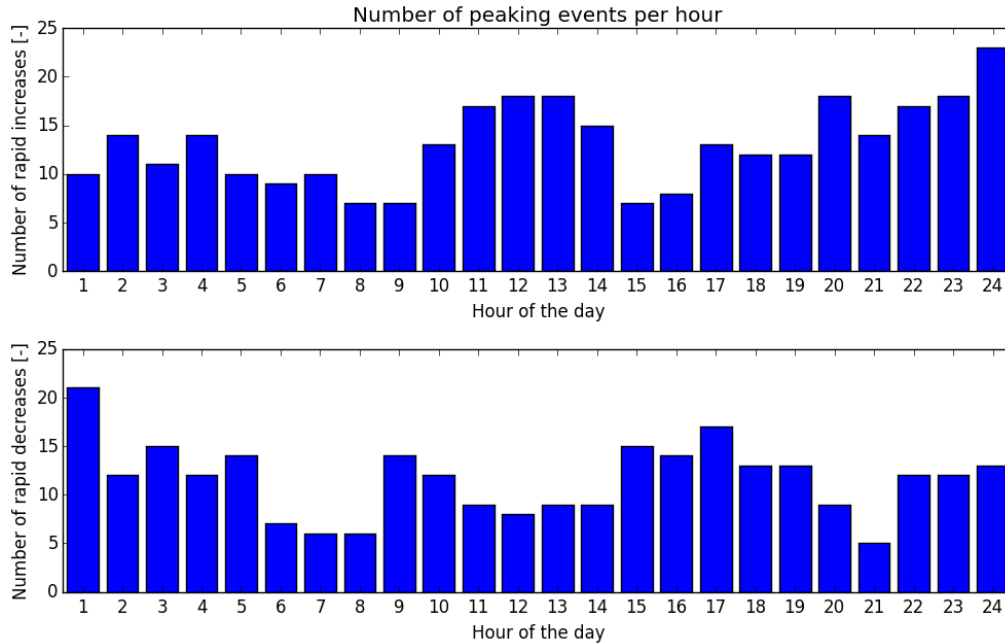


Figura A7.109 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

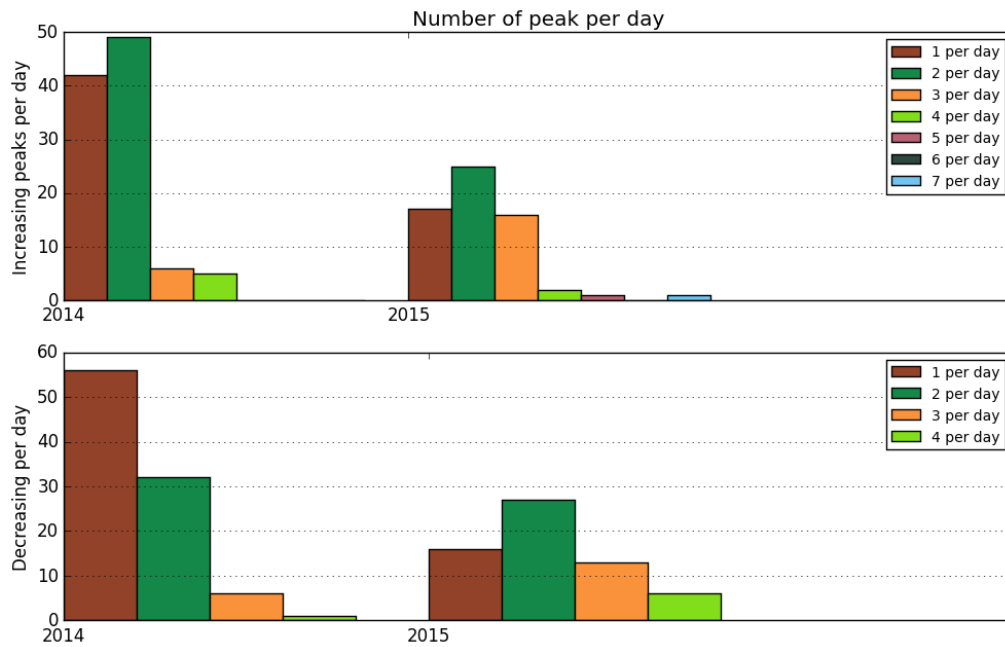


Figura A7.110 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Se visualiza mayor ocurrencia de eventos de subida en torno al mediodía y desde las 17 a las 24. En general ocurren uno o dos eventos diarios.

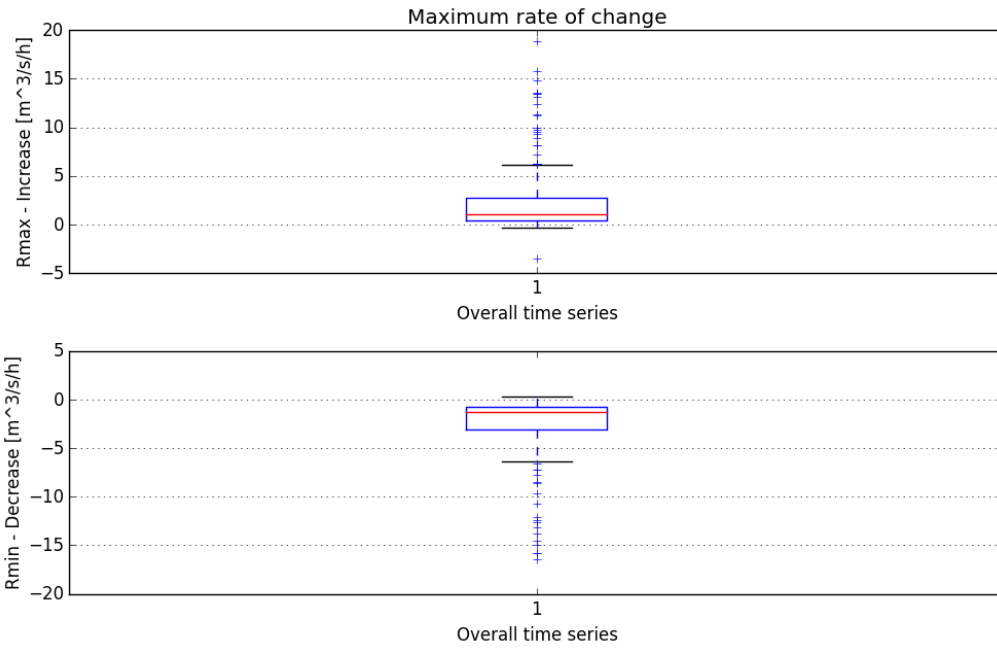


Figura A7.111 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

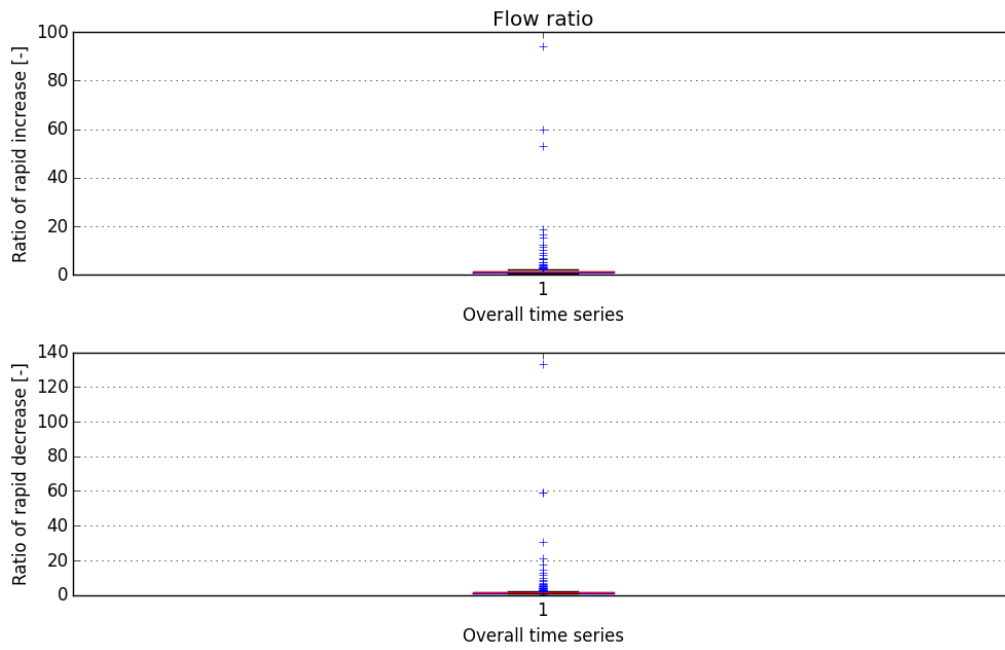


Figura A7.112 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 17

Ésta es una central de pasada pequeña que inició recientemente su operación. Falta un 5% de los datos sobre el período, que abarca un poco menos de 6 meses.

La ocurrencia de *hydropeaking* es muy clara en esta señal, pero ocurre un cambio claro de comportamiento tras el primer mes de operación, ya que dejan de ocurrir las fluctuaciones de alta frecuencia, pasándose a una operación que parece seguir el hidrograma natural del río. Luego, en otoño, vuelven a ocurrir fuertes fluctuaciones.

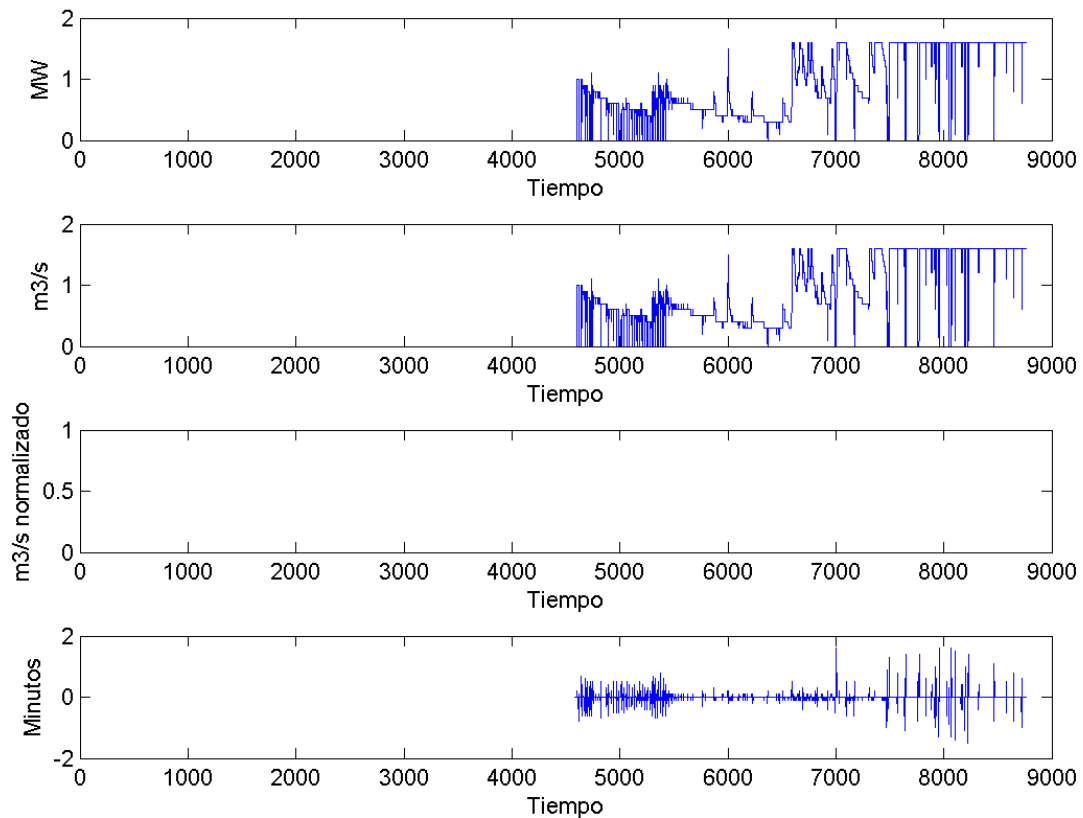


Figura A7.113 Comportamiento estimado en operación real de la Central 17

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

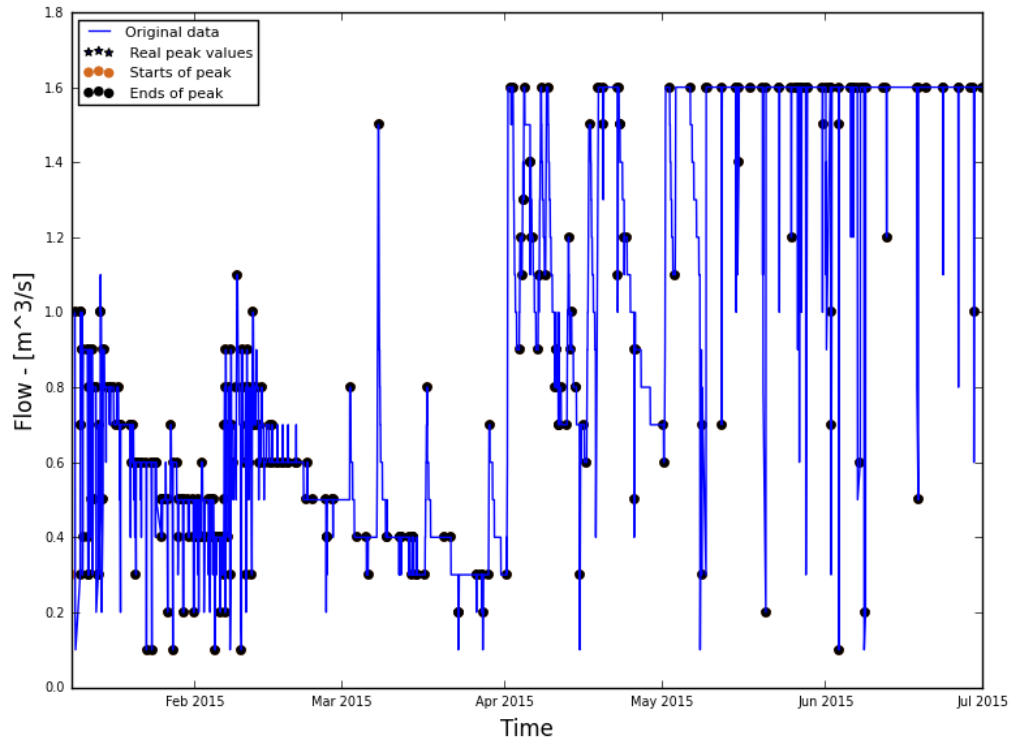


Figura A7.114 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

NO ARROJA GRAFICO COSH

Figura A7.115 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



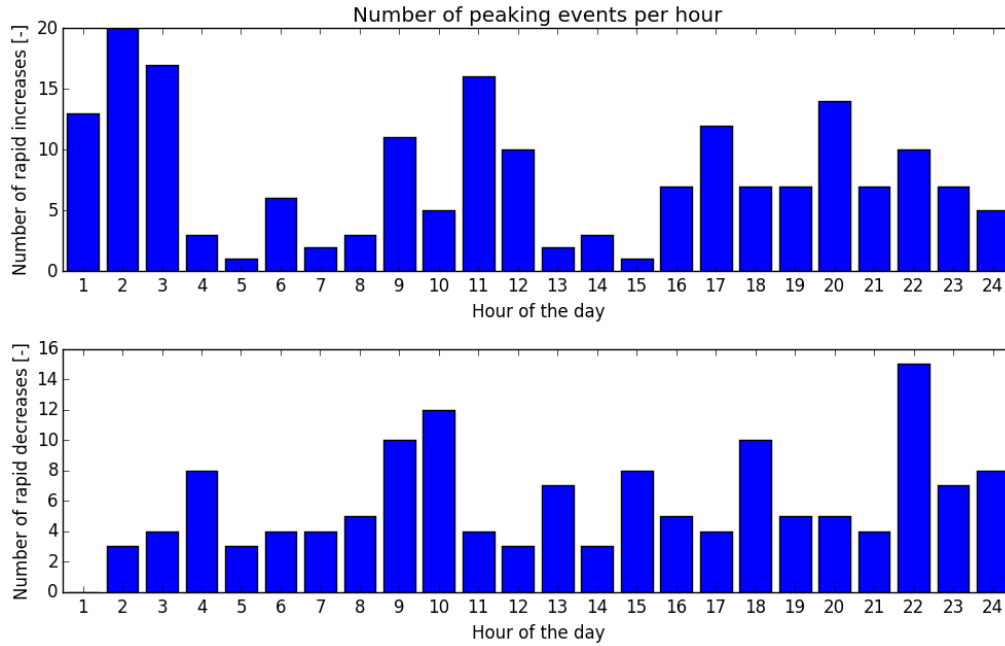


Figura A7.116 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

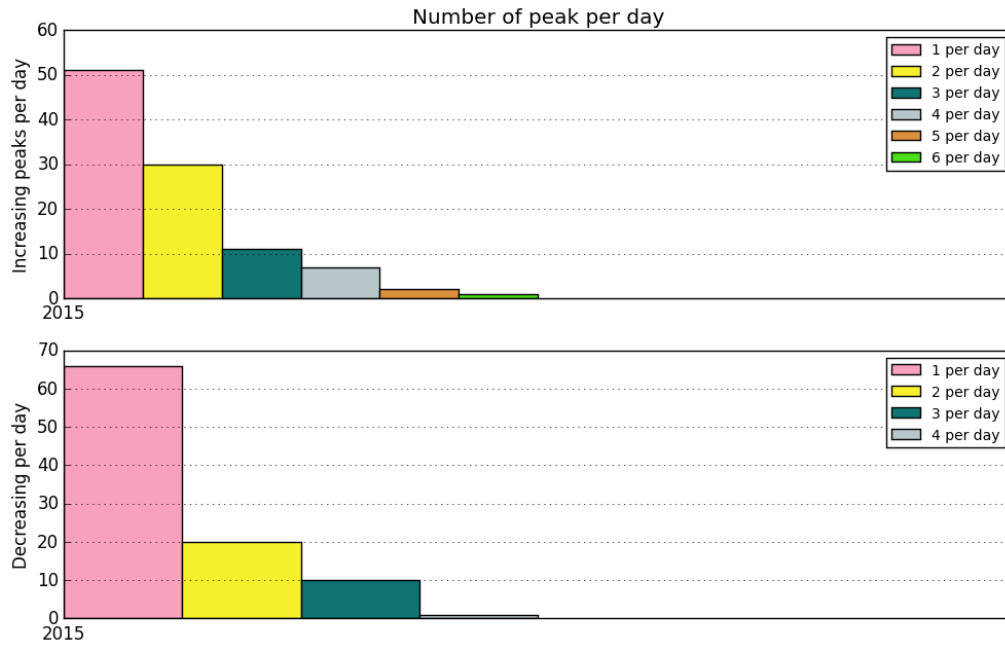


Figura A7.117 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida se concentran en torno a las 2, las 11, y luego desde las 16 a las 23. En esta central, la frecuencia típica es de un evento diario.

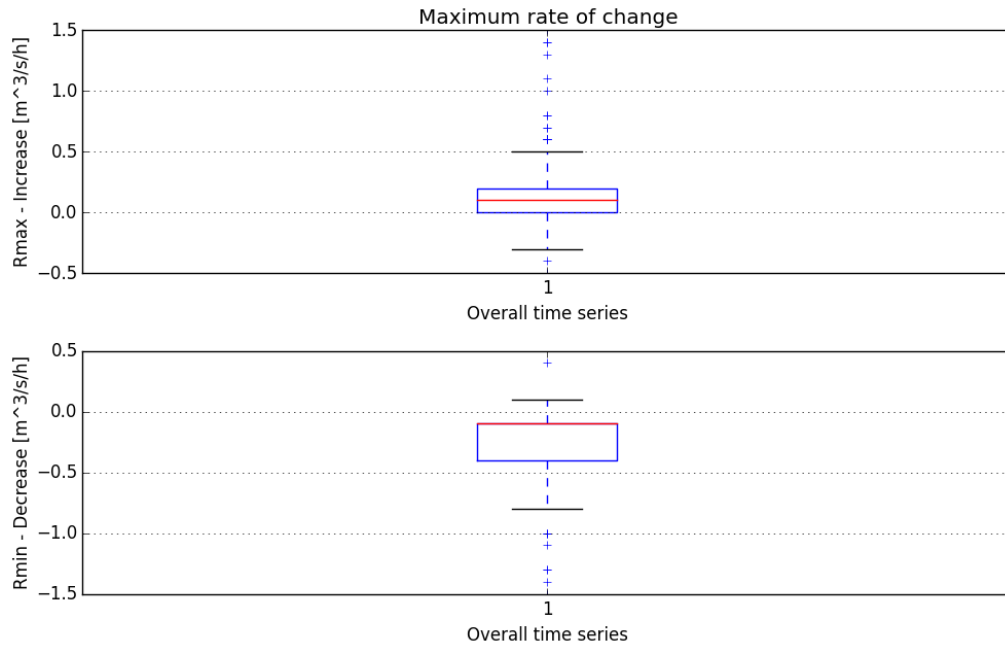


Figura A7.118 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

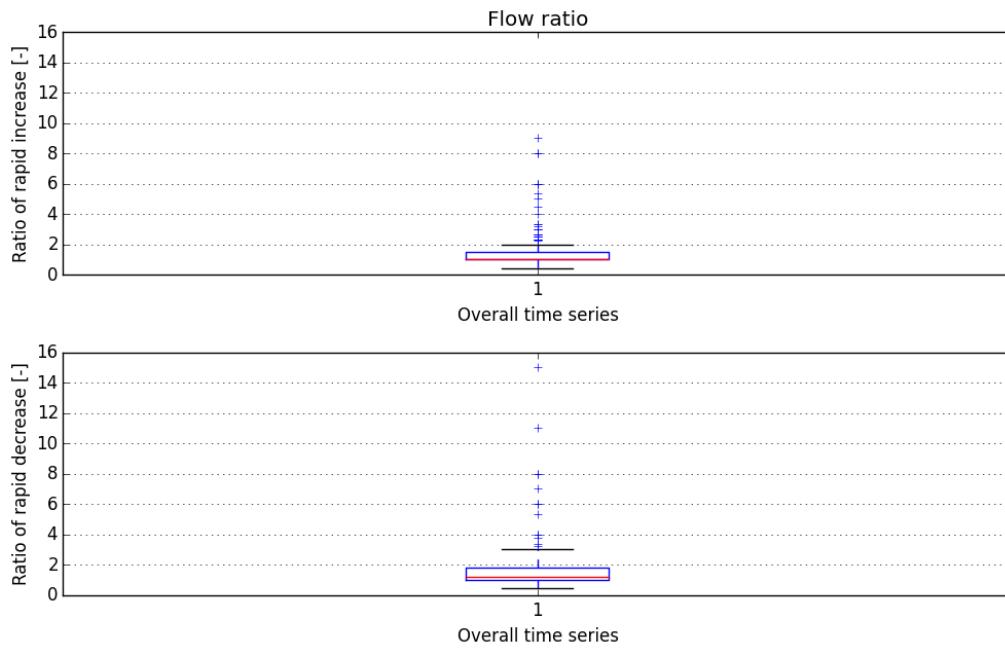


Figura A7.119 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 18

En esta serie de tiempo faltan 2589 datos de un total de 8760 horas anuales.

Se trata de una central de pasada de tamaño intermedio, con una cierta capacidad de regulación. Posiblemente esto explique la ocurrencia de fuertes pulsos de *hydropeaking* durante todo el año. Se observa que la magnitud de las fluctuaciones disminuye un poco durante el estiaje, pero no así su frecuencia.

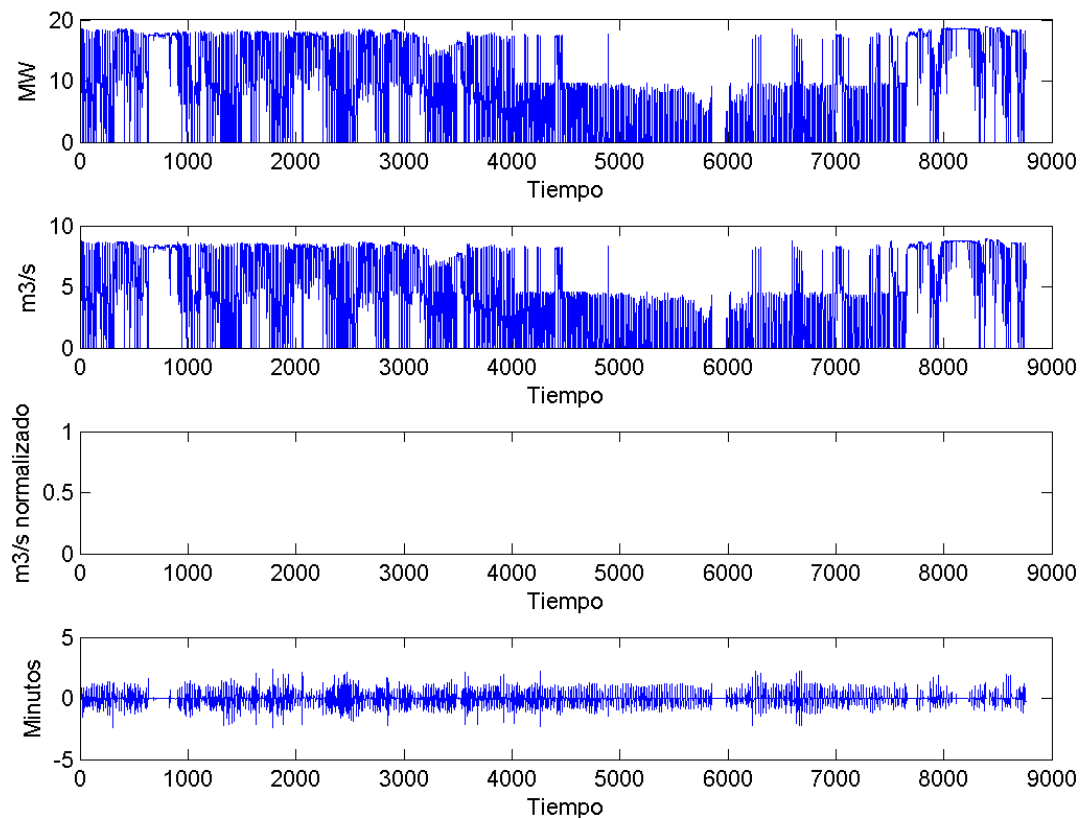


Figura A7.120 Comportamiento estimado en operación real de la Central 18

a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Aproximadamente el 90% de los eventos de caudal alto duran 15 horas o menos, pero más interesante es el hecho que en torno al 60% de los eventos de caudal bajo (los valles) son instantáneos, y el 90% de ellos dura menos de 5 horas.

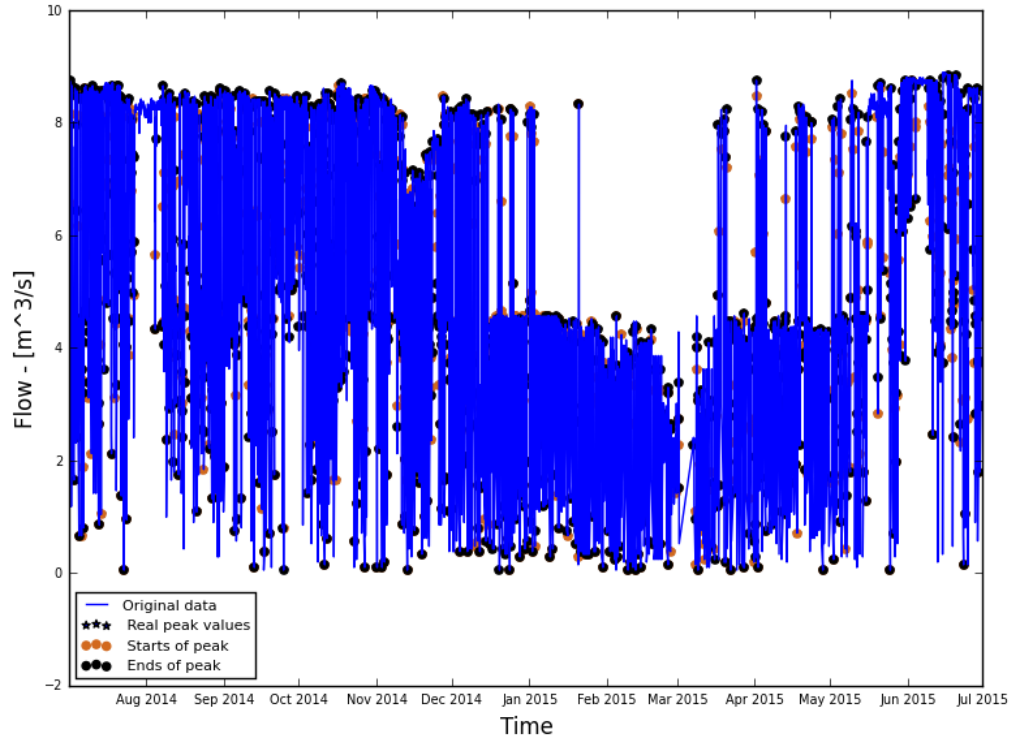


Figura A7.121 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

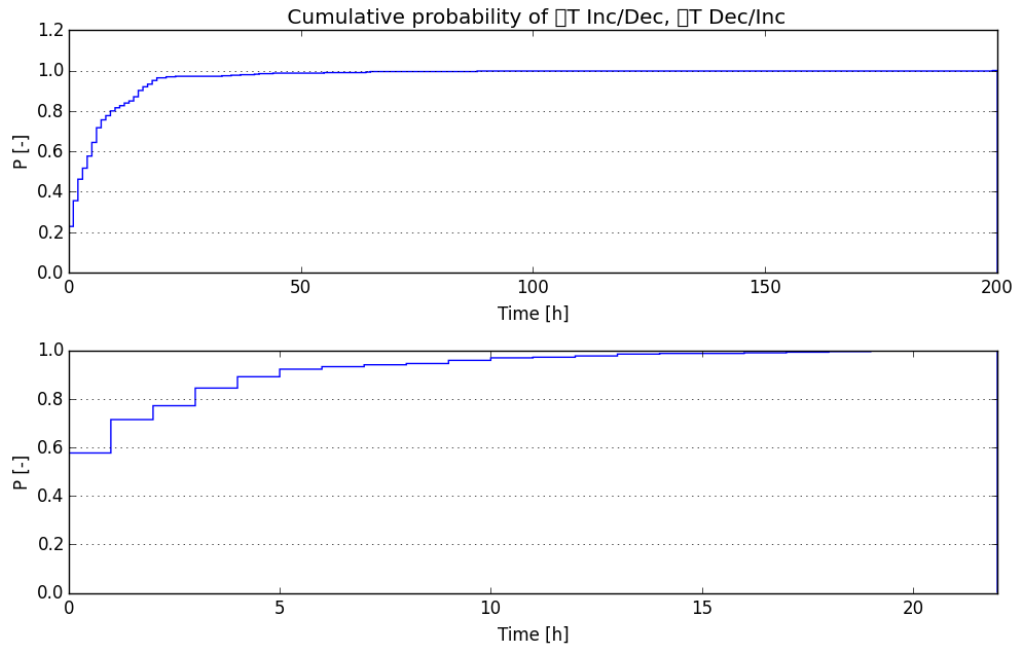


Figura A7.122 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

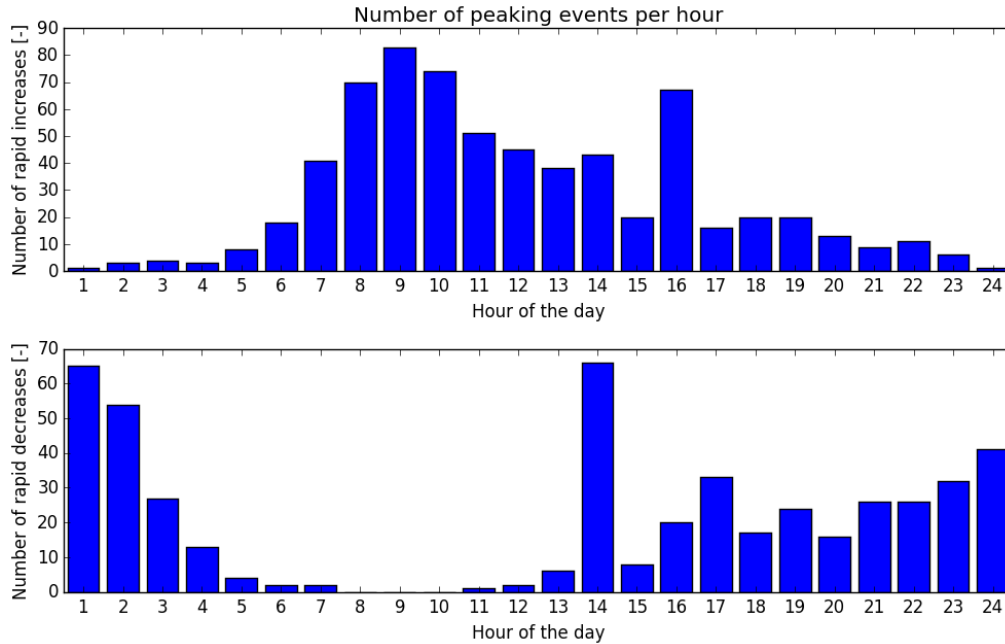


Figura A7.123 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

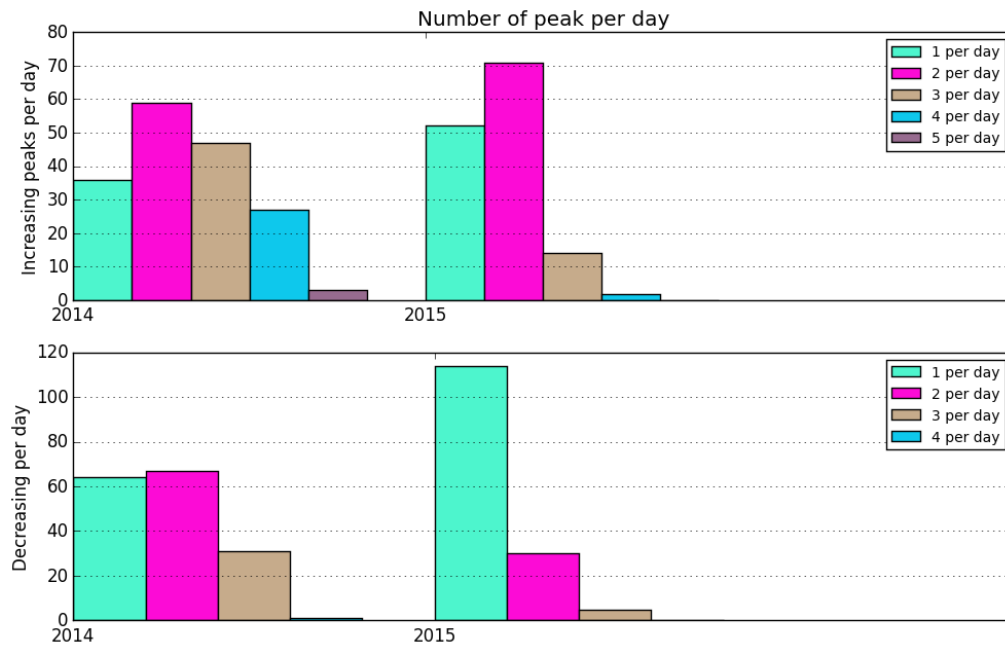


Figura A7.124 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

En el caso de esta central, probablemente por su capacidad de regulación, es muy clara la ocurrencia de pulsos de subida matinales, entre las 7 y las 13, con la moda a las 9 de la mañana, con otro *peak* secundario las 16. Por su parte, con excepción de un *peak* solitario a las 14, los eventos de bajada rápida aumentan durante la tarde y la noche alcanzando su máximo a la 1 de la madrugada y decayendo luego.

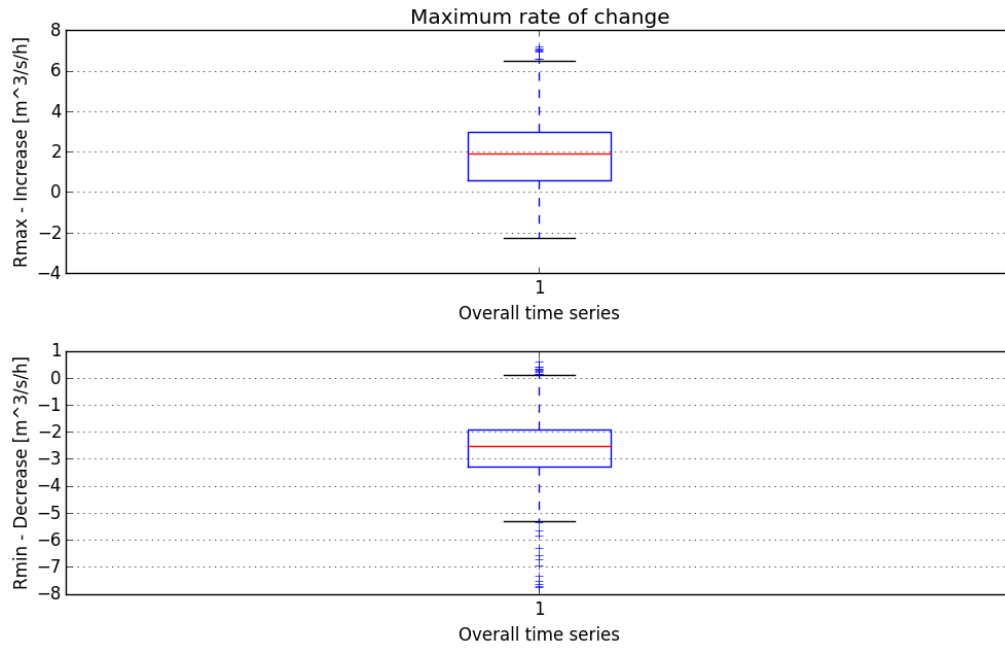


Figura A7.125 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

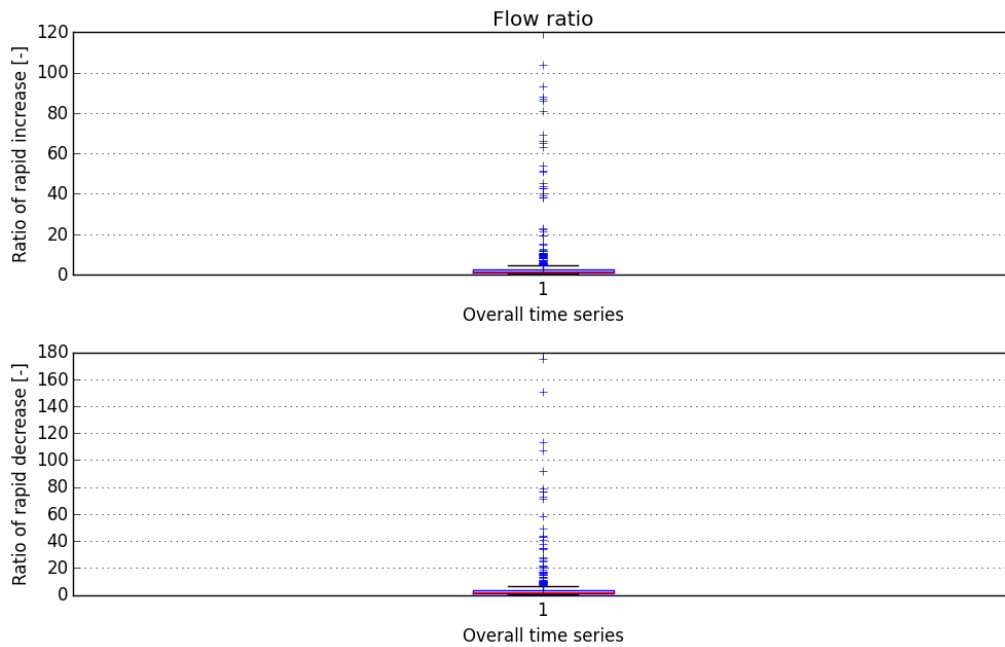


Figura A7.126 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 19

A pesar de que la serie de tiempo se ve continua, COSH indica que faltarían 5523 datos, un 63% del total.

Esta central que, al igual que la anterior, también presenta un volumen de regulación modesto, es la que tiene el hidrograma de generación más artificial de todas las analizadas. No hay ningún patrón estacional: a lo largo de todo el año, ocurren fluctuaciones de gran magnitud, iguales.

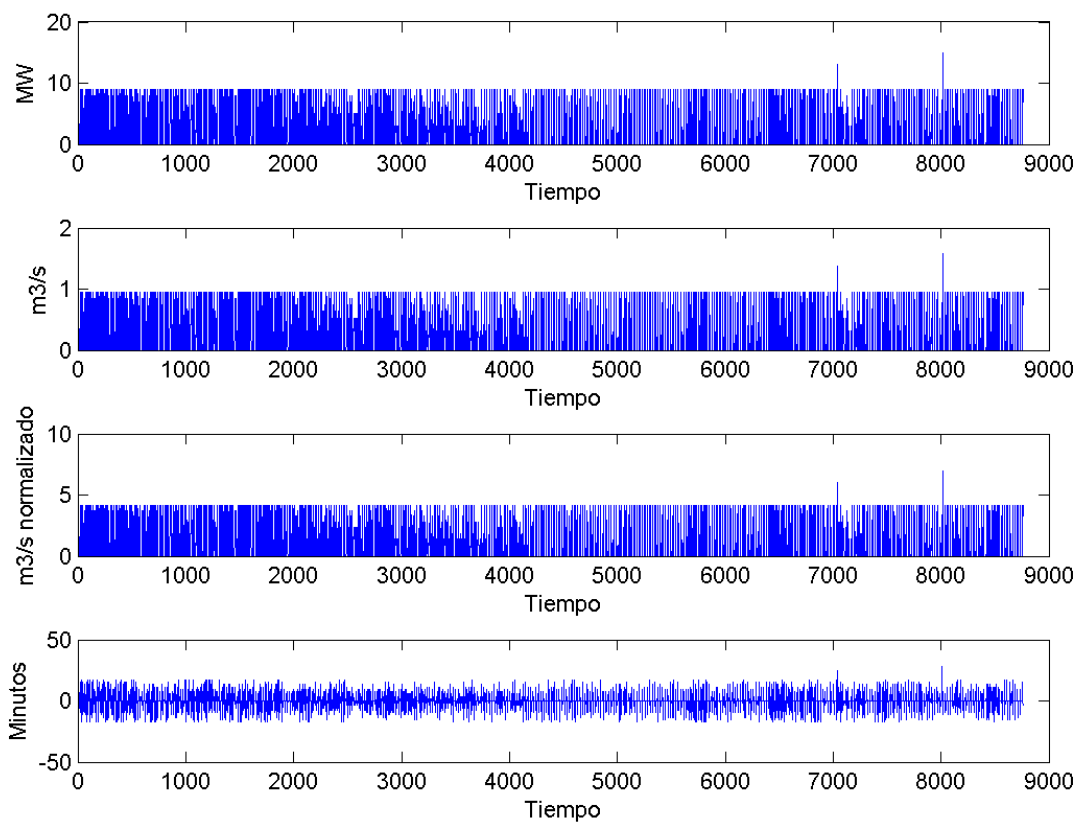


Figura A7.127 Comportamiento estimado en operación real de la Central 19

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El 40% de los eventos de máxima y el 46% de los de mínima son instantáneos, aunque los percentiles 90% para las duraciones de ambos tipos de evento son largos, en torno a las 20 horas.

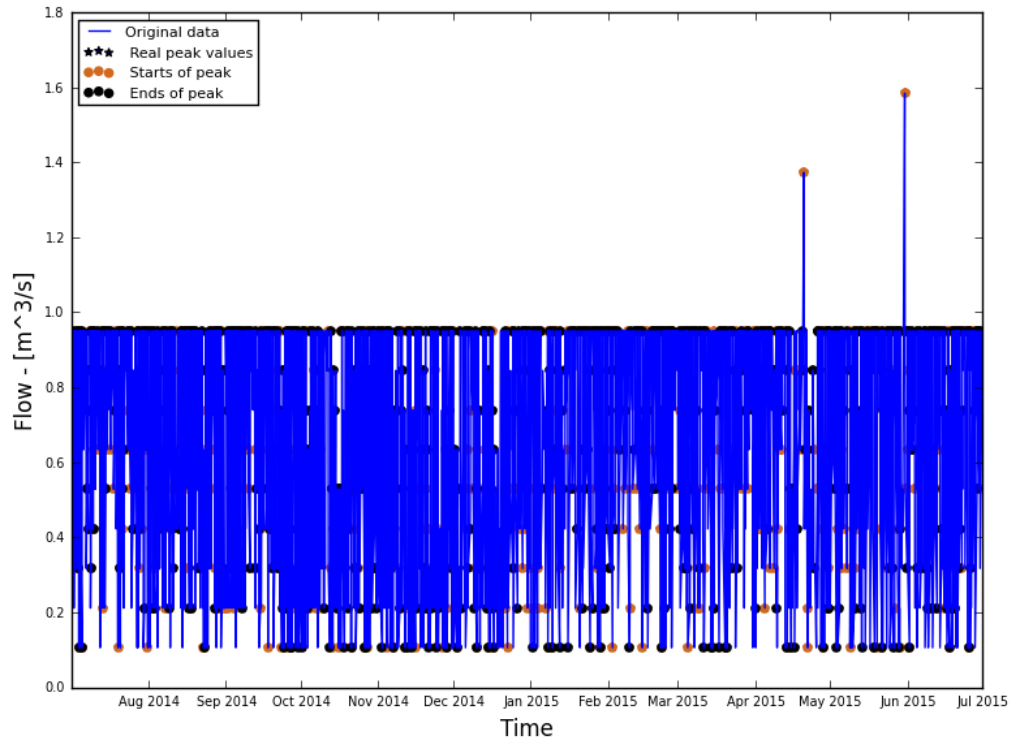


Figura A7.128 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

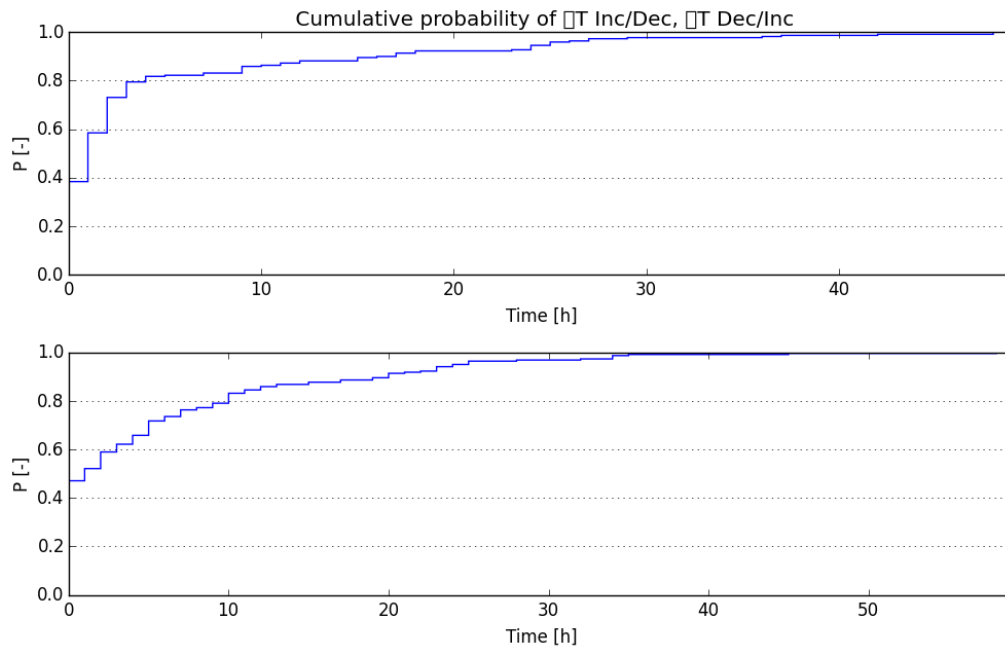


Figura A7.129 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



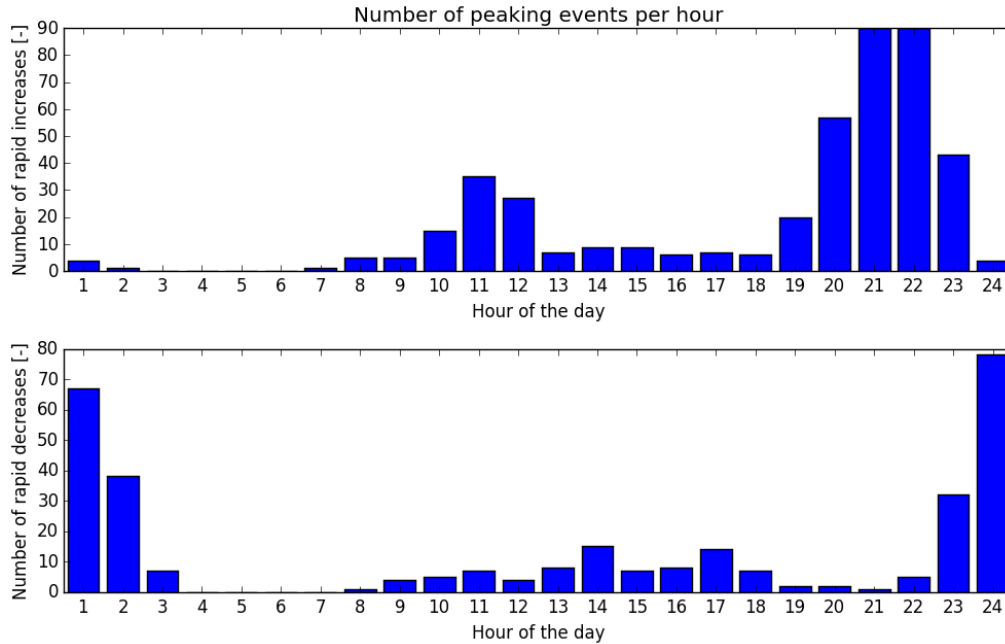


Figura A7.130 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

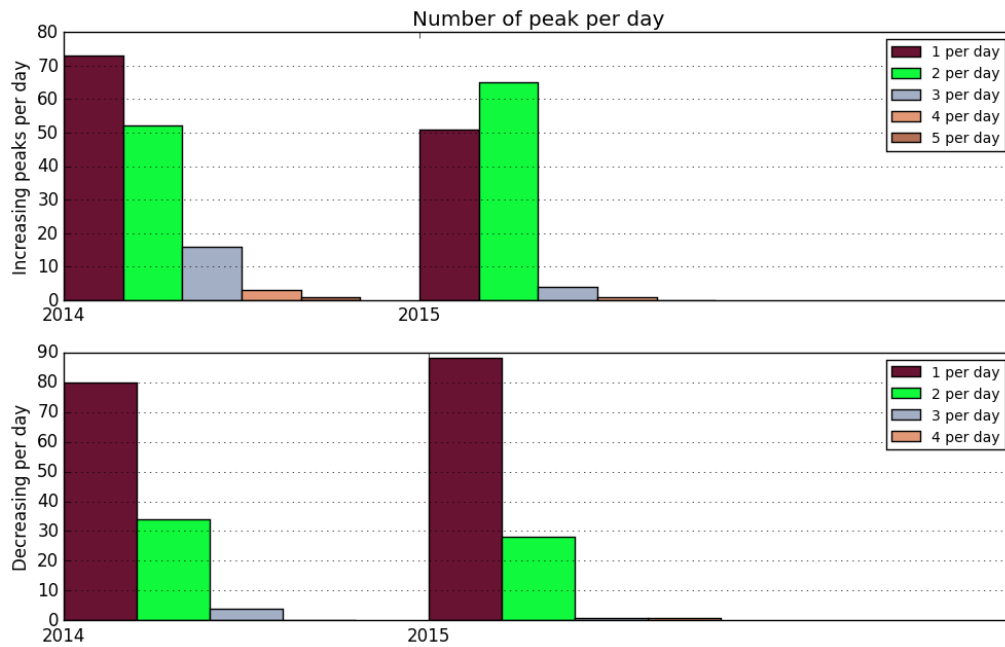


Figura A7.131 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

El comportamiento durante el día es muy claro, siguiendo los patrones de demanda: los *peaks* de subida ocurren a media mañana, con un *peak* bajo en torno a las 11, y sobre todo en la noche, entre las 20 y la 23. En general, se tiene un *peak* diario, aunque también hay una frecuencia bastante alta de días con dos eventos.

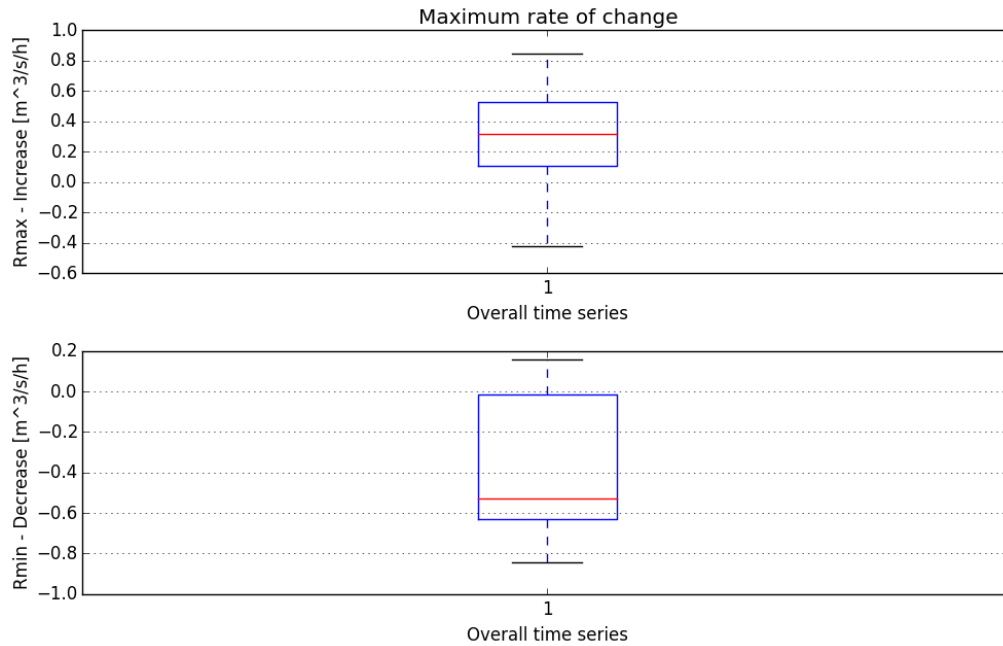


Figura A7.132 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

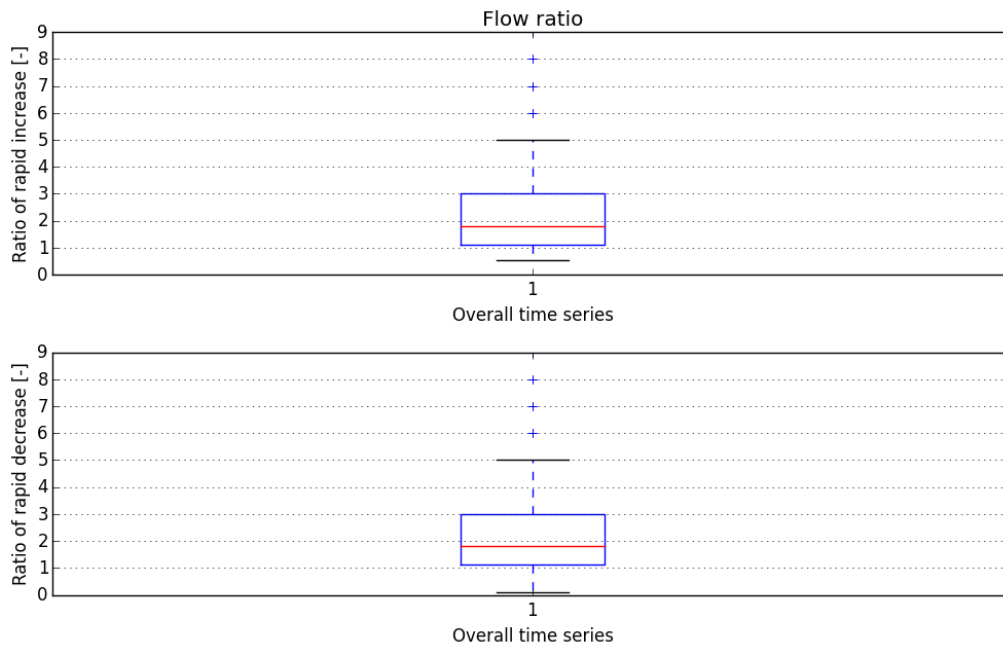


Figura A7.133 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 20

En esta serie falta el 45% de los datos horarios.

Se observa que no hubo generación durante el verano y el otoño, probablemente debido a la necesidad de respetar un caudal ecológico. El resto del año, se genera a capacidad durante los períodos de abundancia hídrica, aunque con ocasionales fluctuaciones fuertes del caudal. Se observa como disminuye el caudal disponible para generar durante el transcurso de la primavera.

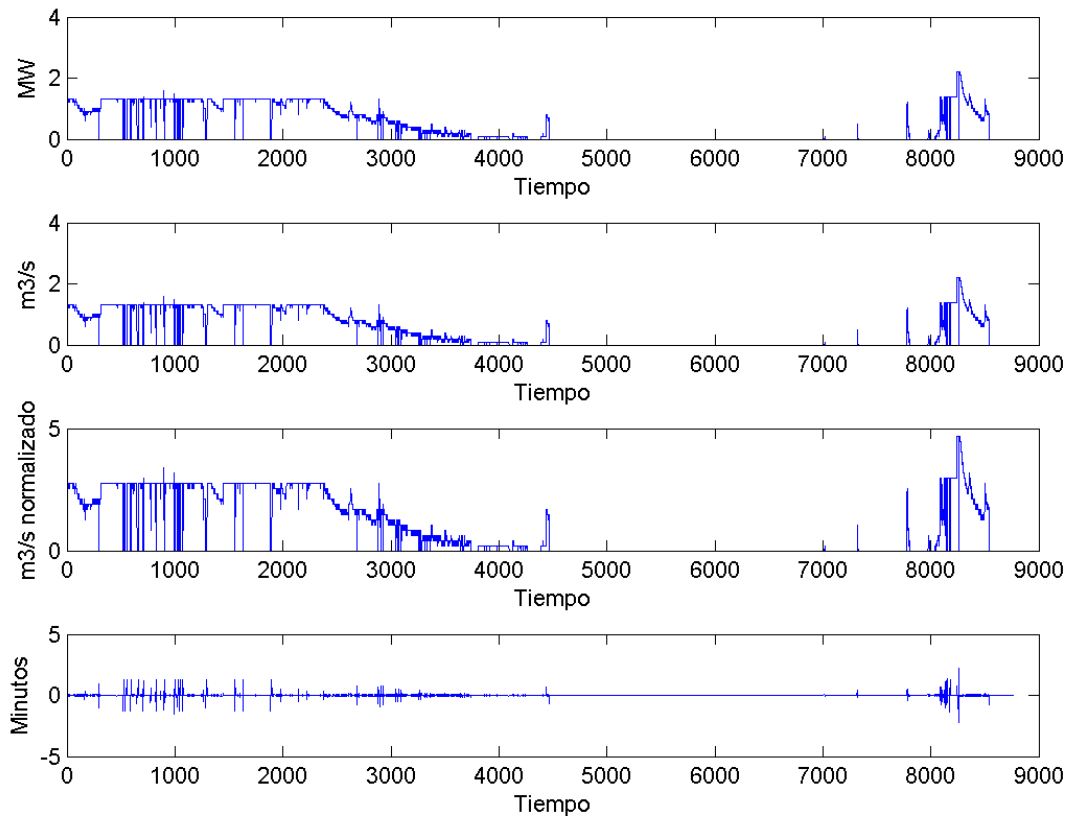


Figura A7.134 Comportamiento estimado en operación real de la Central 20

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Ya sea por la ausencia de datos, o bien por las duraciones largas de algunos eventos de alta, COSH no es capaz de elaborar las distribuciones acumuladas para las duraciones.

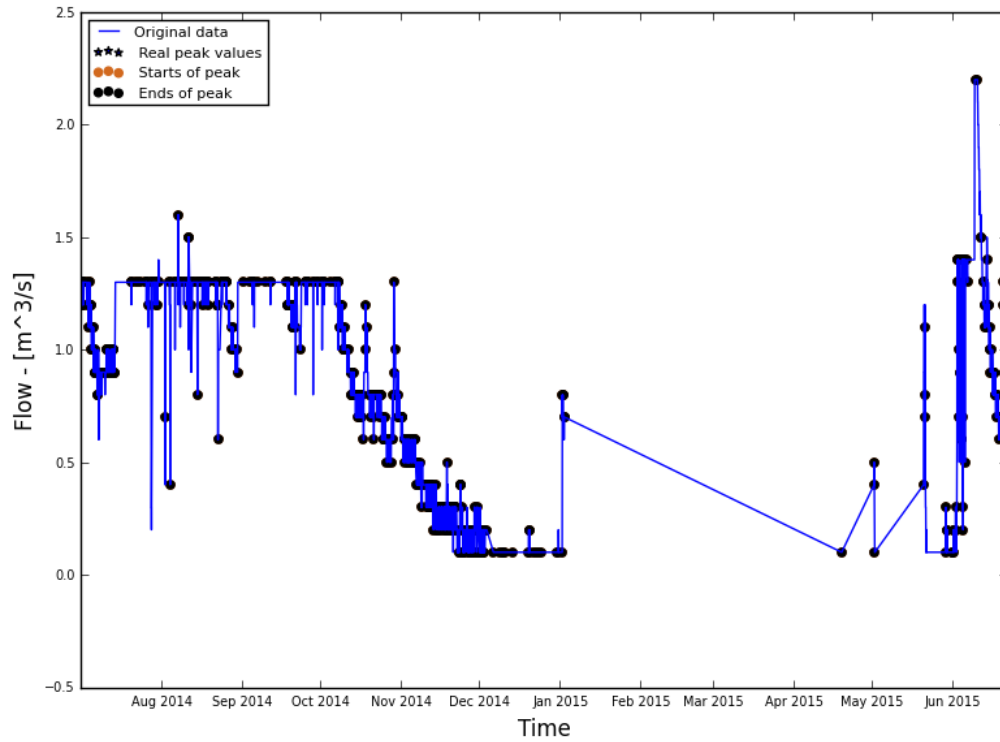


Figura A7.135 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

NO ARROJA GRAFICO COSH

Figura A7.136 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

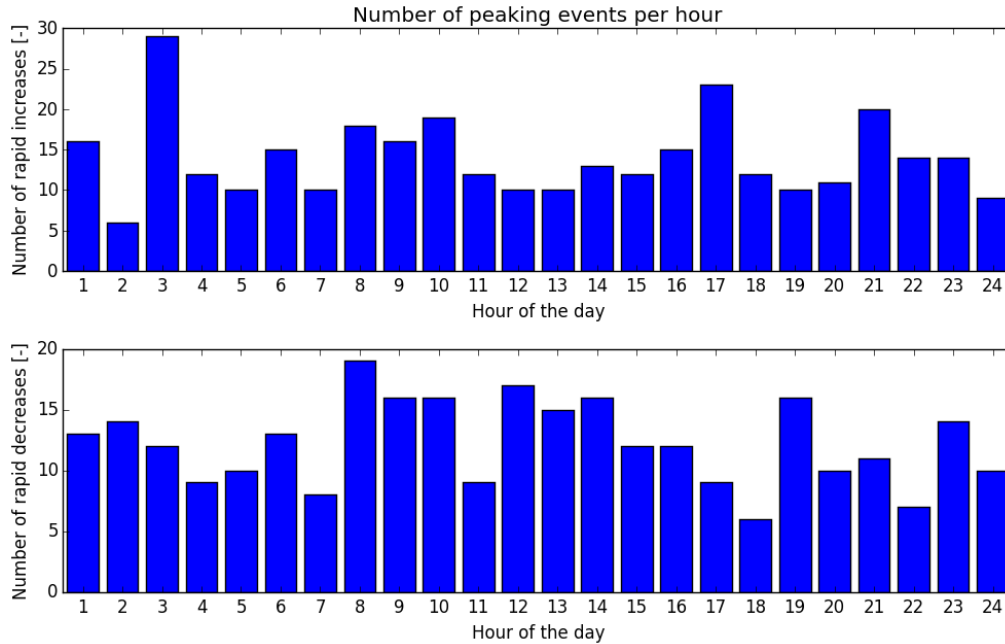


Figura A7.137 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

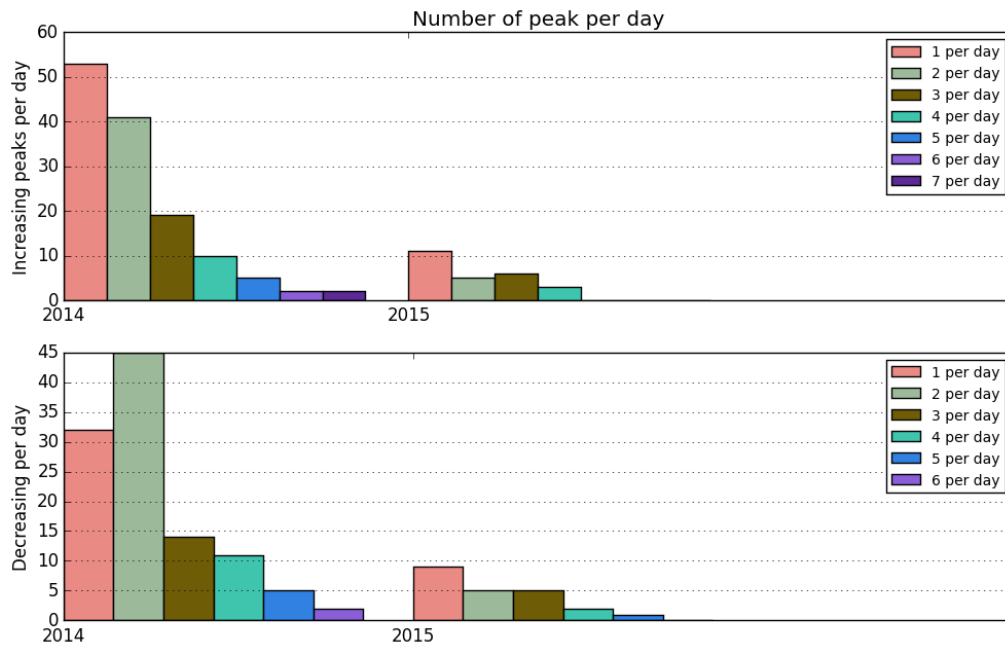


Figura A7.138 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Como se observó en otras centrales de pasada pequeñas, sin capacidad de regulación, los eventos de subida y de bajada pueden ocurrir en cualquier momento del día. Típicamente hay uno o dos eventos diarios.

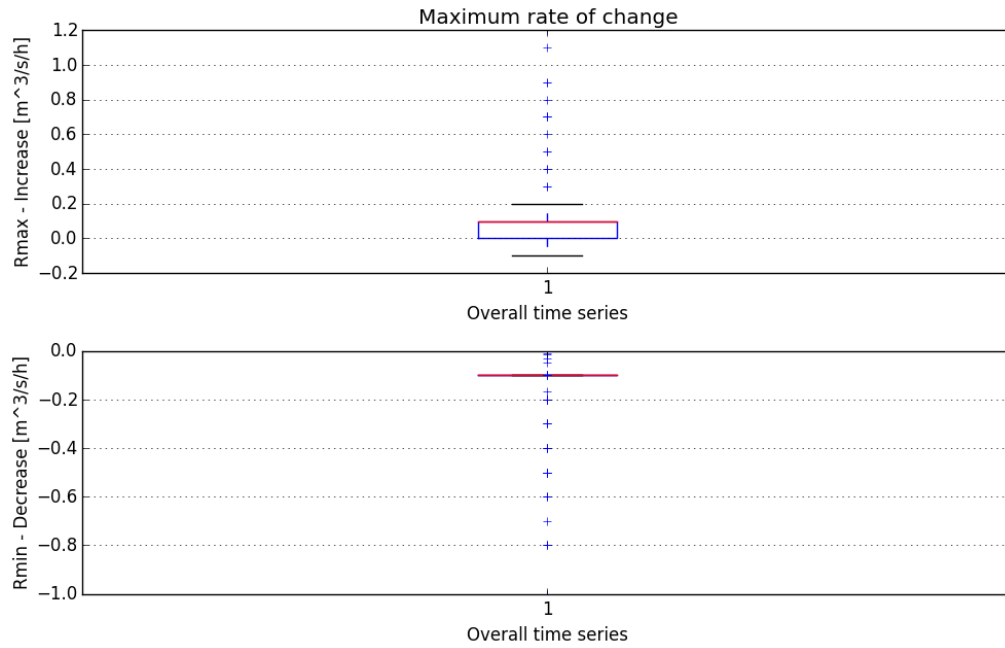


Figura A7.139 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

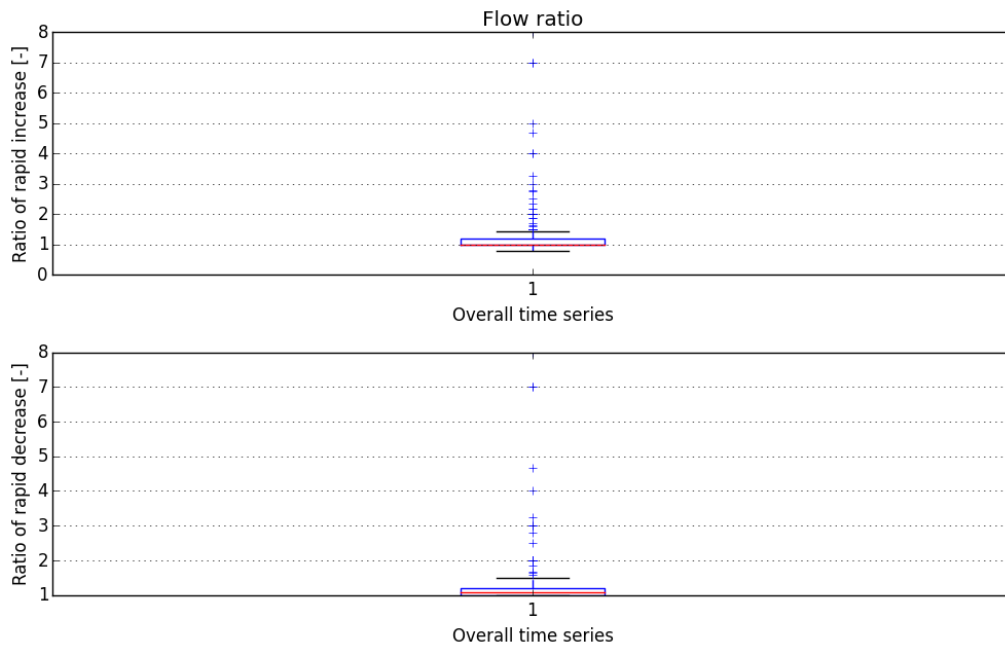


Figura A7.140 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 21

En esta serie sólo faltan 156 datos horarios, por lo que puede considerarse completa.

Se observa aquí un comportamiento muy diferente al de las centrales anteriores: se genera casi constantemente con un caudal base que fluctúa muy poco, sobre el que se superponen fuertes pulsos de subida, en el período primaveral y de inicios del verano. El resto del año, se genera con un caudal básicamente constante, aunque con eventos de alta frecuencia pero baja magnitud.

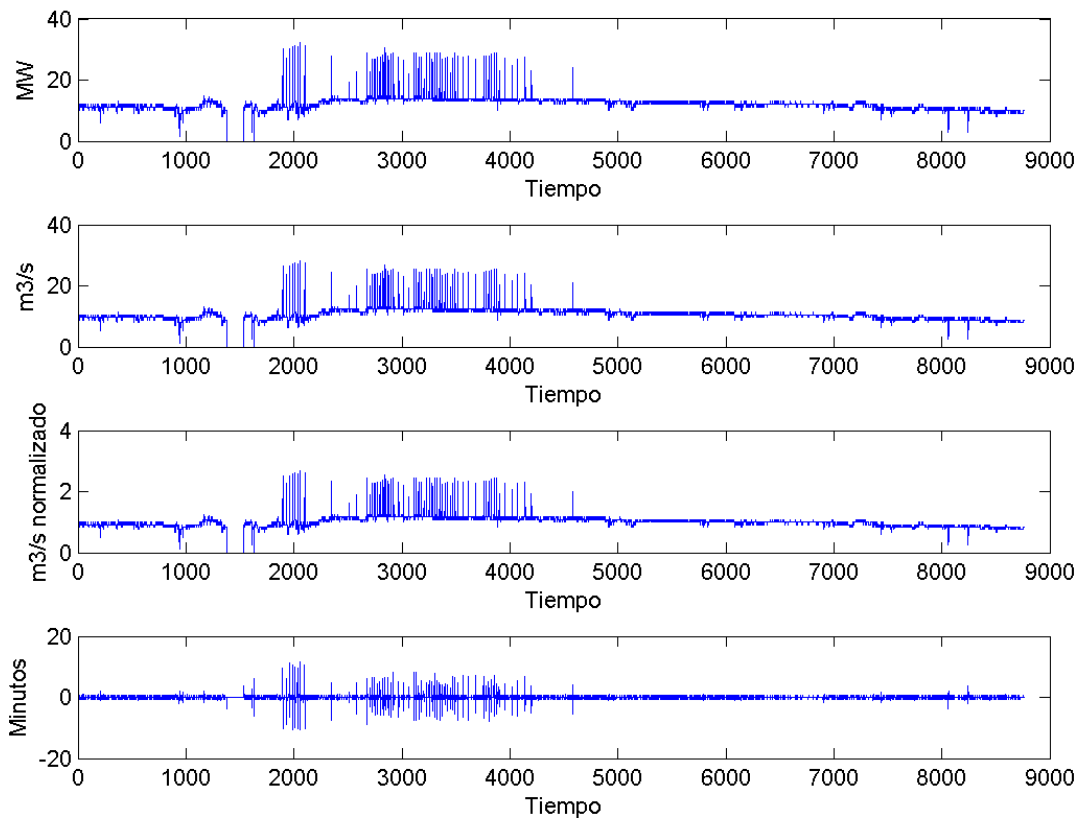


Figura A7.141 Comportamiento estimado en operación real de la Central 21

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Tanto para los eventos de subida como de bajada, en torno a un 25 a 30% de ellos tienen duración instantánea, mientras que los percentiles 90% corresponden a la duración de 8 horas.

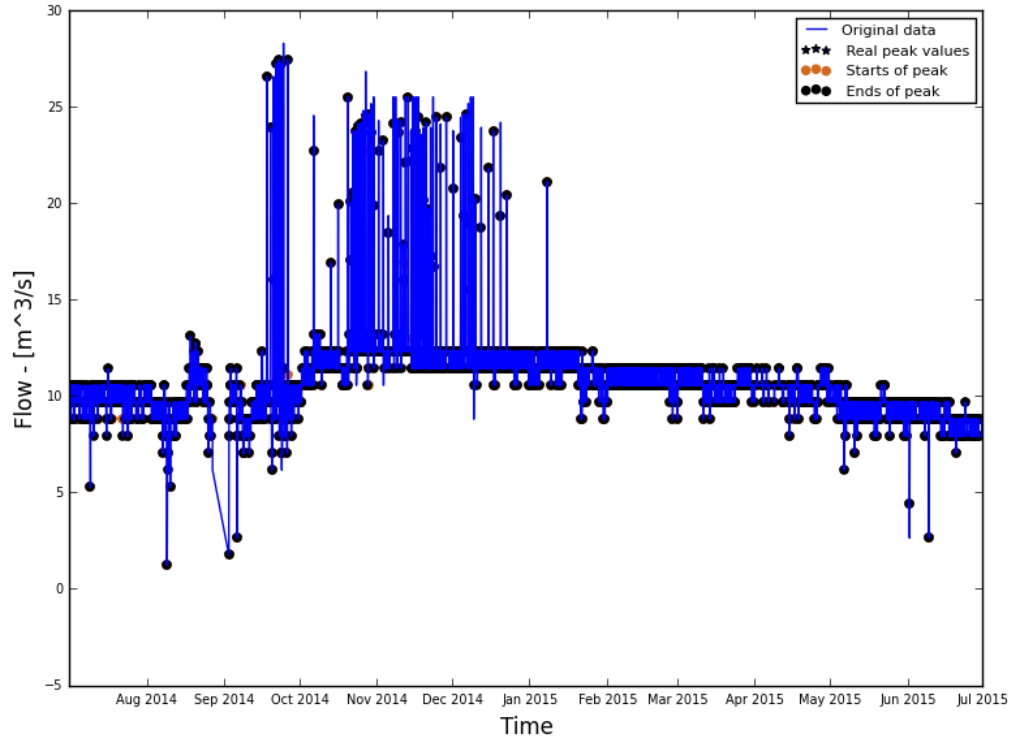


Figura A7.142 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

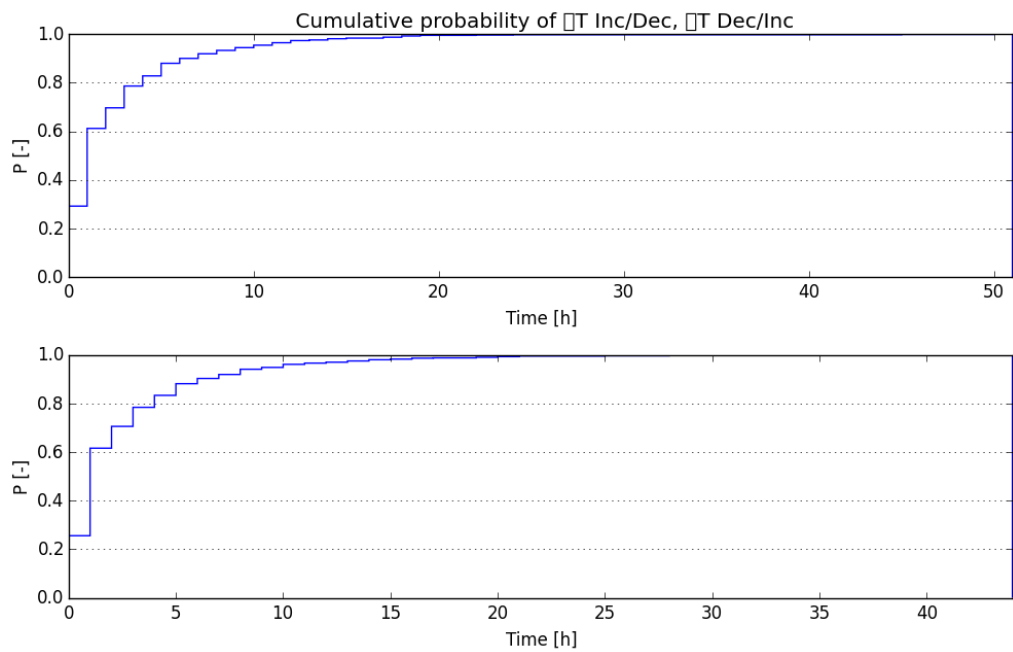


Figura A7.143 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



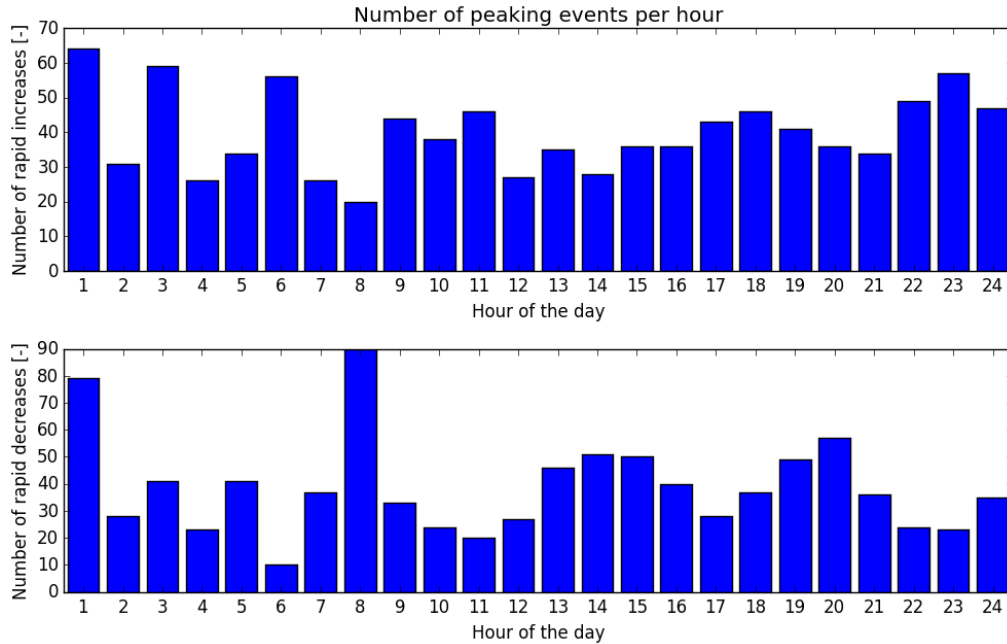


Figura A7.144 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

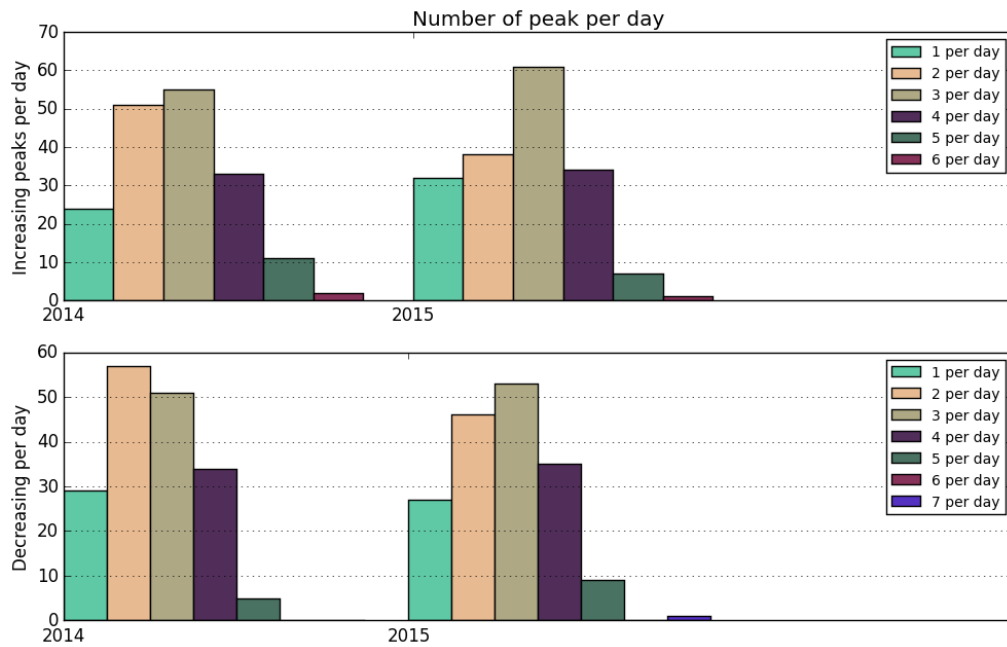


Figura A7.145 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos pueden ocurrir en cualquier hora del día, y típicamente hay dos o tres subidas y bajadas diarias.

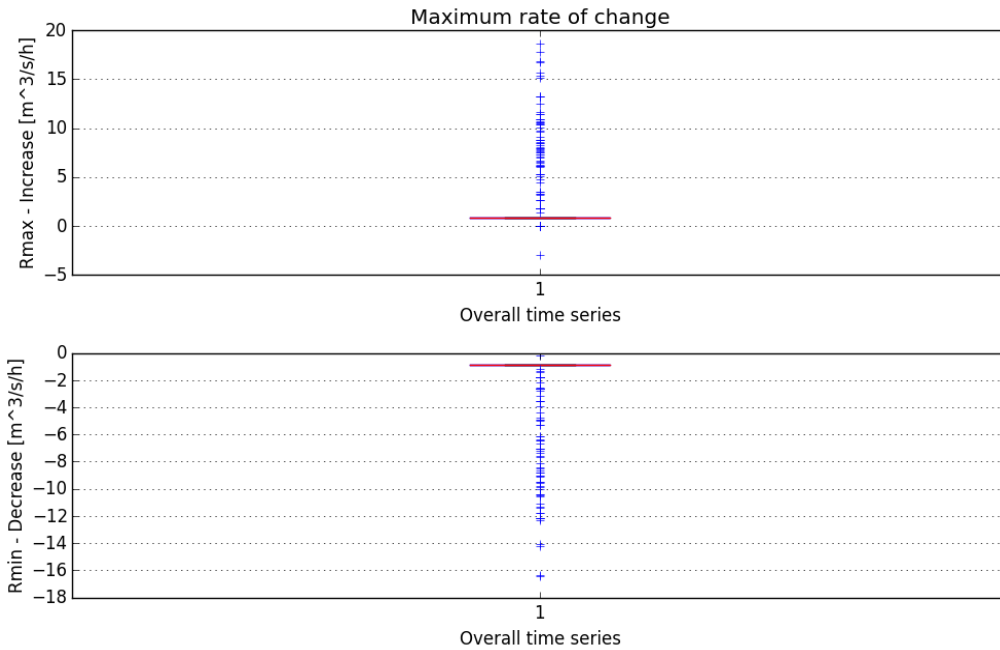


Figura A7.146 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

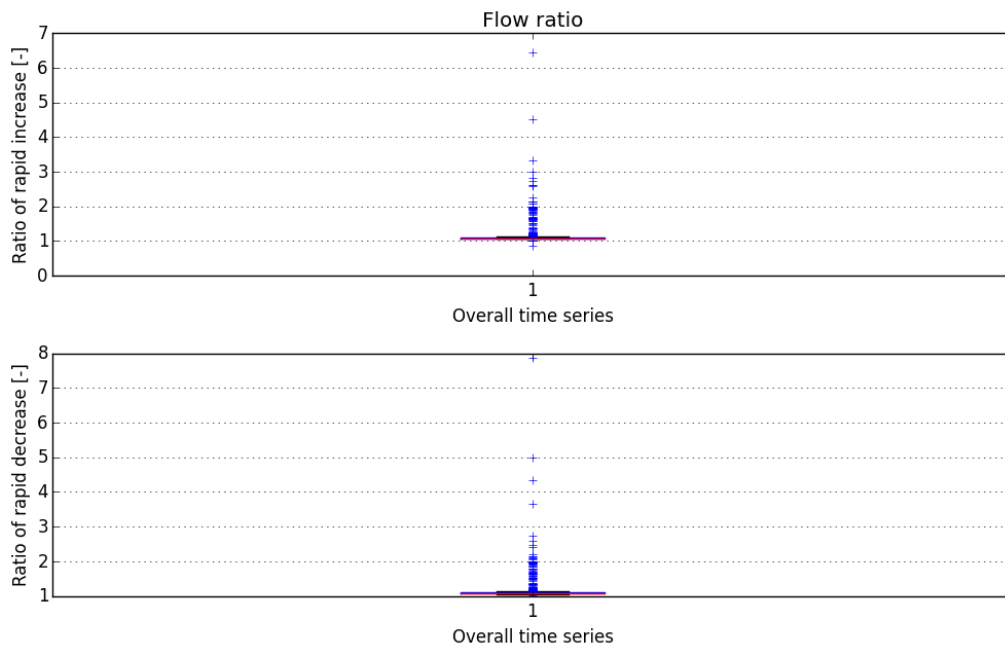


Figura A7.147 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

Ésta corresponde a otra central de paso, pero con capacidad para regular caudales algunas horas al día. Falta un 25% de los datos horarios.

Se observa un comportamiento marcadamente estacional: en el invierno y primavera 2014, se generó siguiendo el hidrograma, sobre el cual se superimpusieron fluctuaciones de alta frecuencia pero magnitud acotada. Por otra parte, desde inicios del verano 2015, se genera con fuertes fluctuaciones.

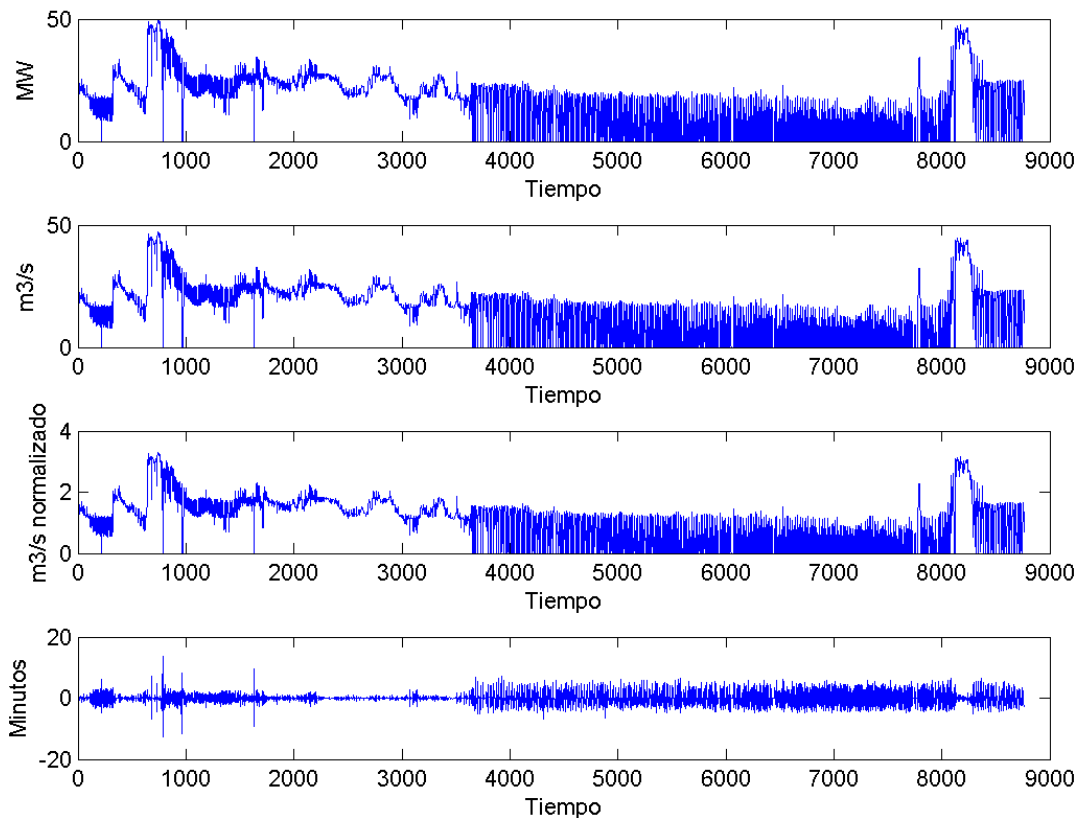


Figura A7.148 Comportamiento estimado en operación real de la Central 22

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

En cuanto a la duración de los pulsos, un 55% de los picos y de los valles son instantáneos, y un 90% de ellos duran menos de 7 u 8 horas.

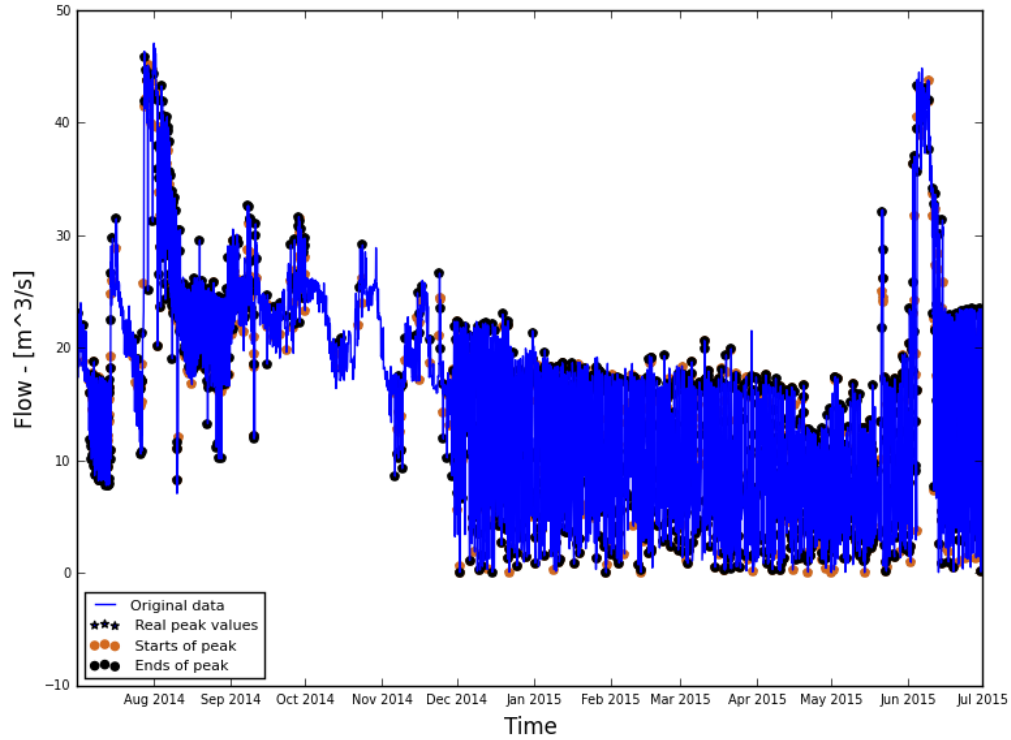


Figura A7.149 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

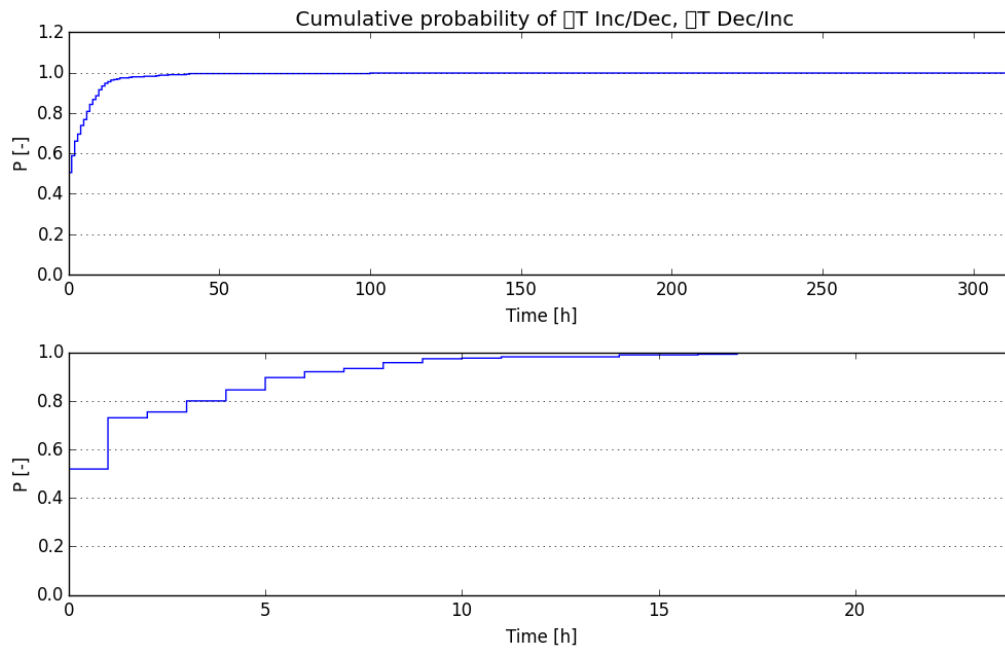


Figura A7.150 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

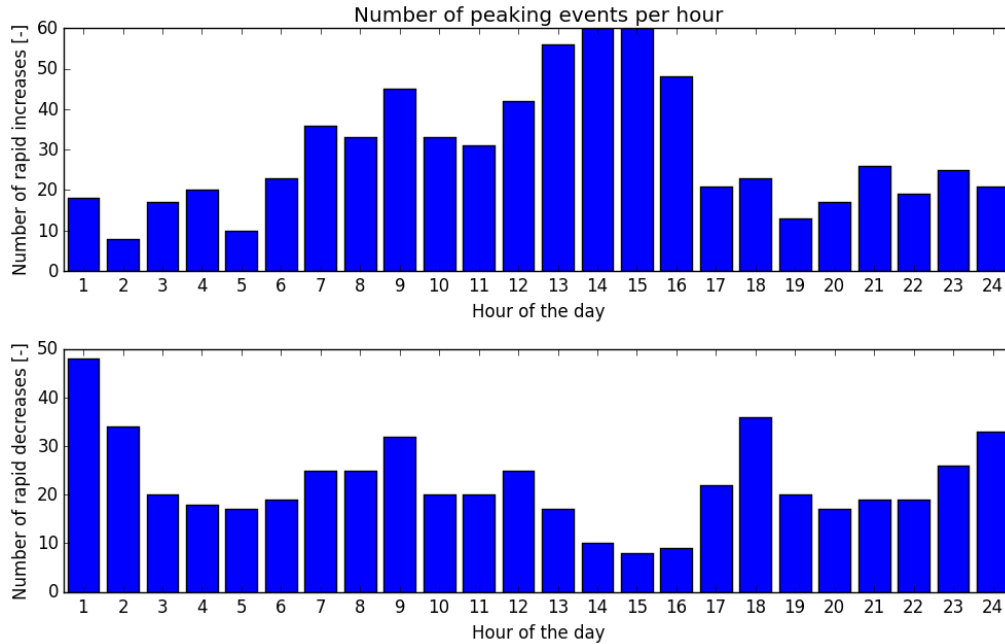


Figura A7.151 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

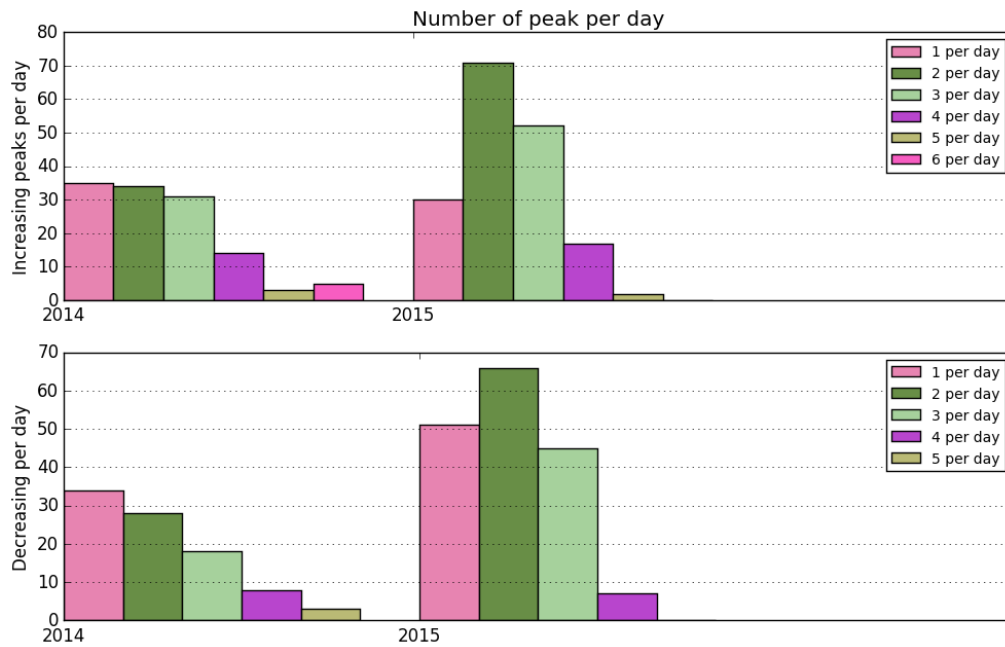


Figura A7.152 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida brusca se concentran en la media tarde, entre las 12 y las 16, mientras que las bajadas bruscas tienden a ocurrir en la noche, entre las 23 y las 3.

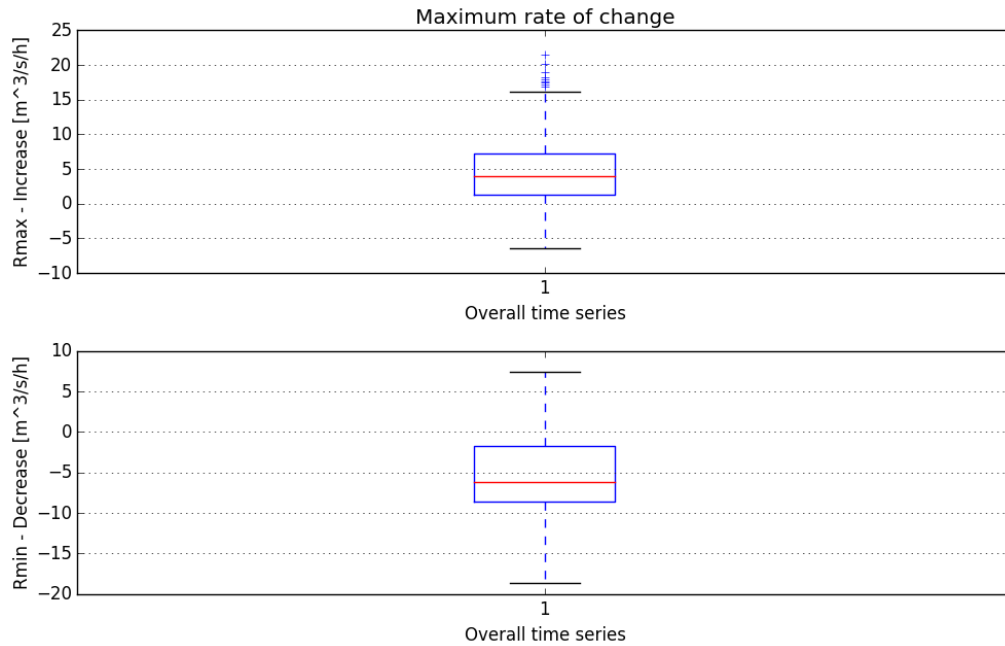


Figura A7.153 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

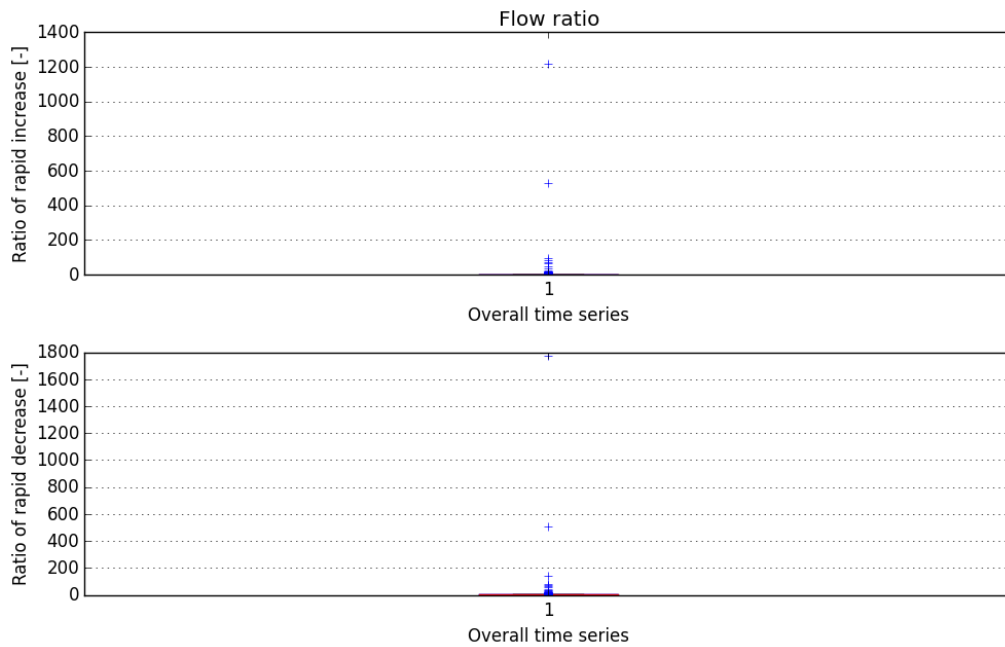


Figura A7.154 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 23

Sólo faltan 10 datos horarios en esta serie, por lo que puede considerarse completa.

Se observan fluctuaciones de gran magnitud absoluta (400 m<sup>3</sup>/s) y relativa, las que disminuyen en estiaje. A fines del verano y otoño, se termina generando con un caudal bajo, constante.

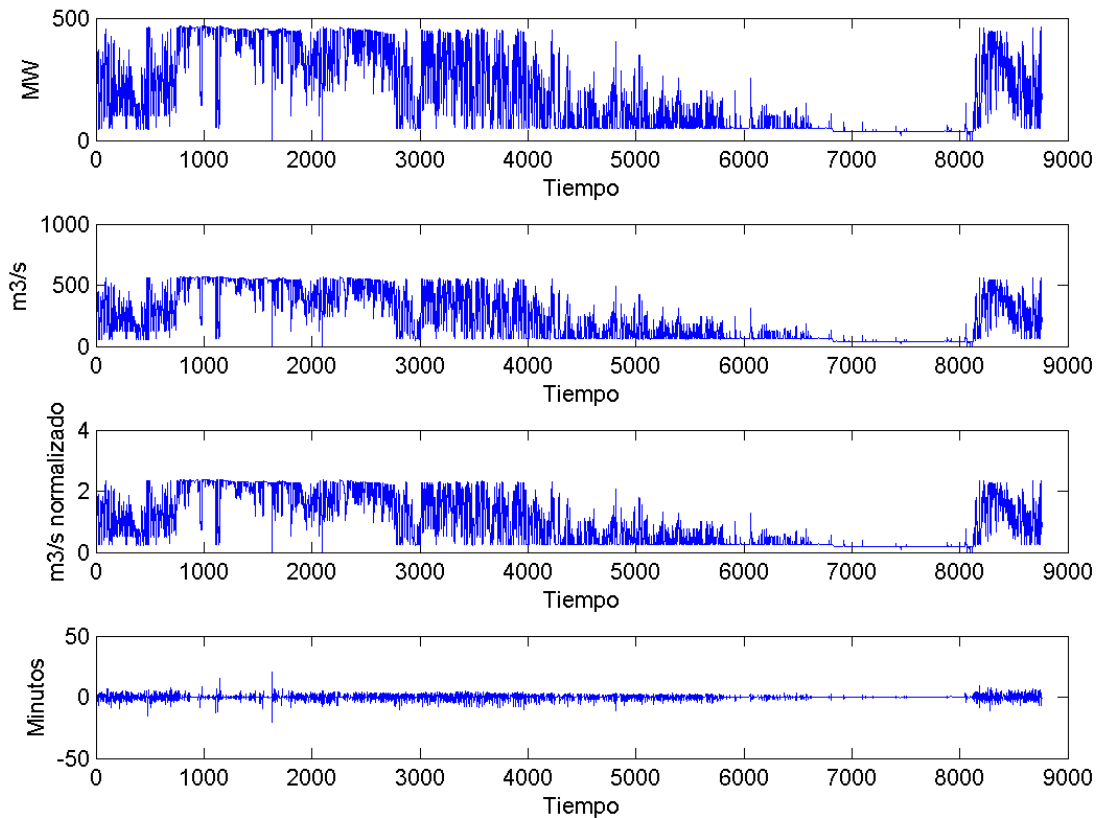


Figura A7.155 Comportamiento estimado en operación real de la Central 23

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El percentil 90% para los eventos de caudal alto está en torno a las 8 horas, mientras que un 60% de los eventos de valle es instantáneo.

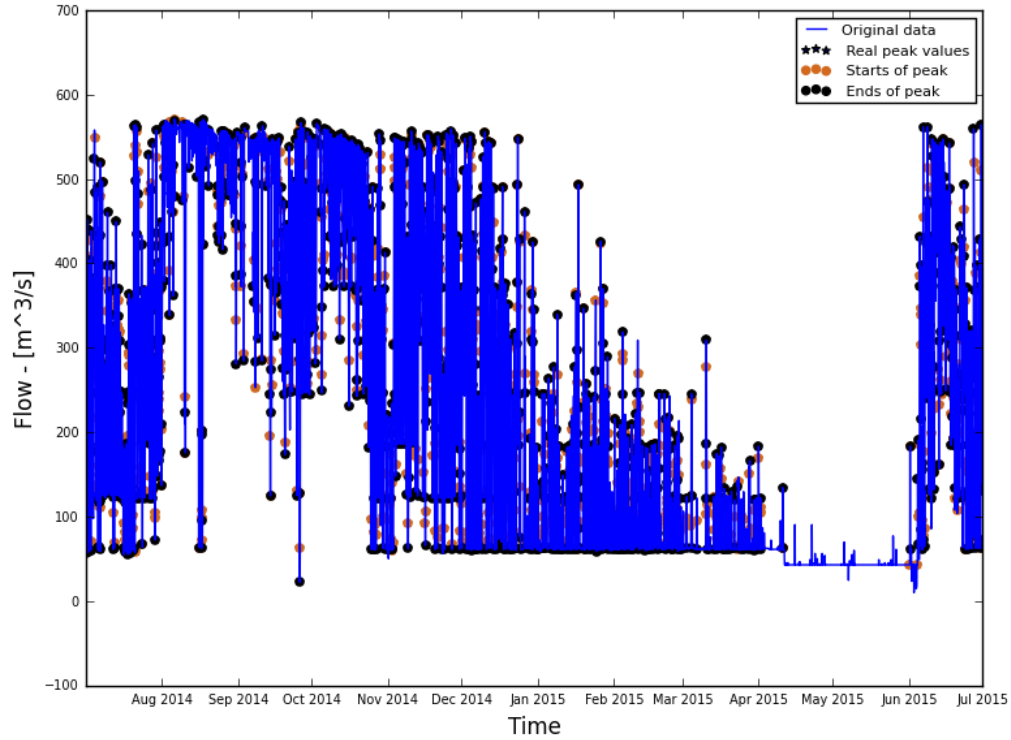


Figura A7.156 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

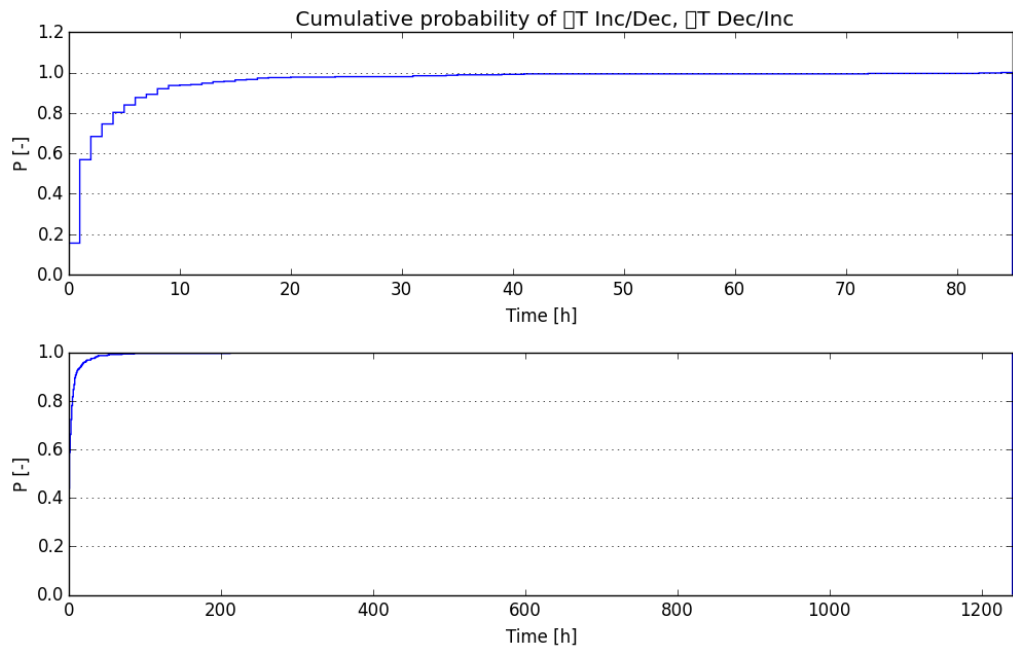


Figura A7.157 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



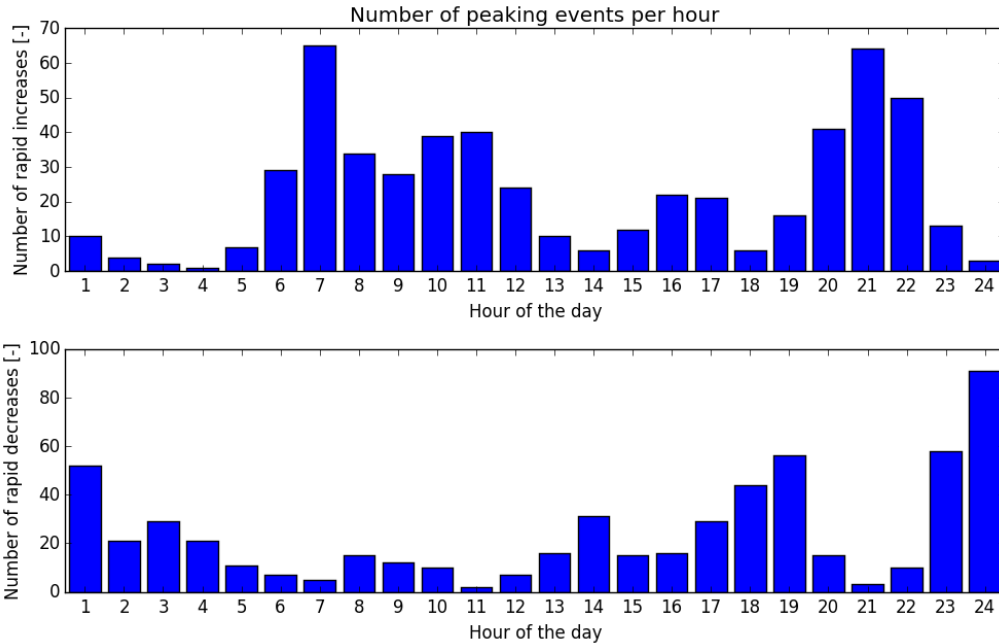


Figura A7.158 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

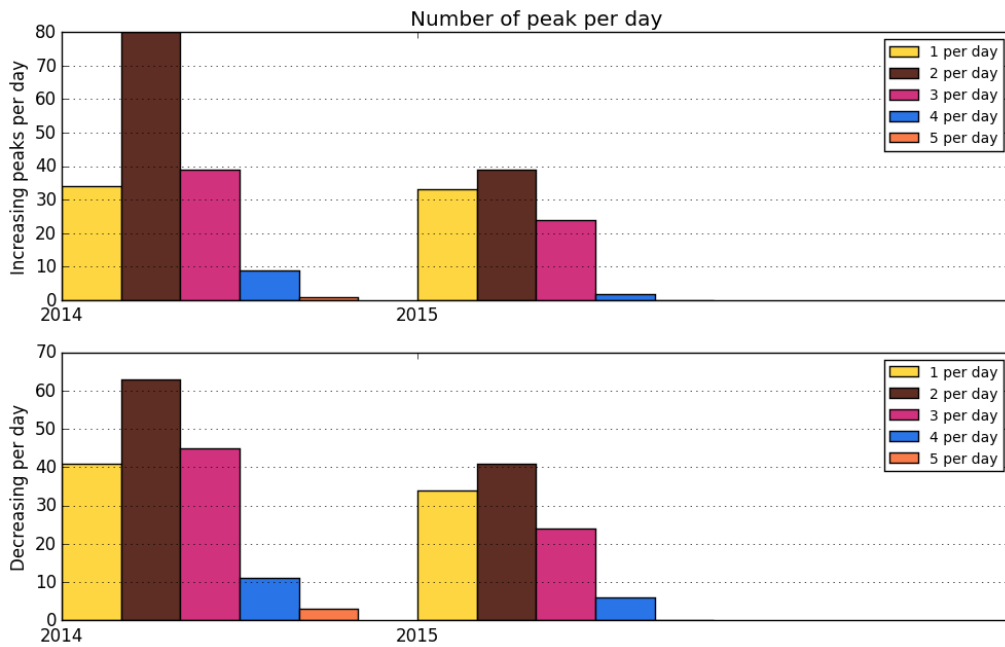


Figura A7.159 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Se observa una clara tendencia a que los eventos de subida ocurren en la mañana o al anochecer, y típicamente se tienen dos eventos diarios.

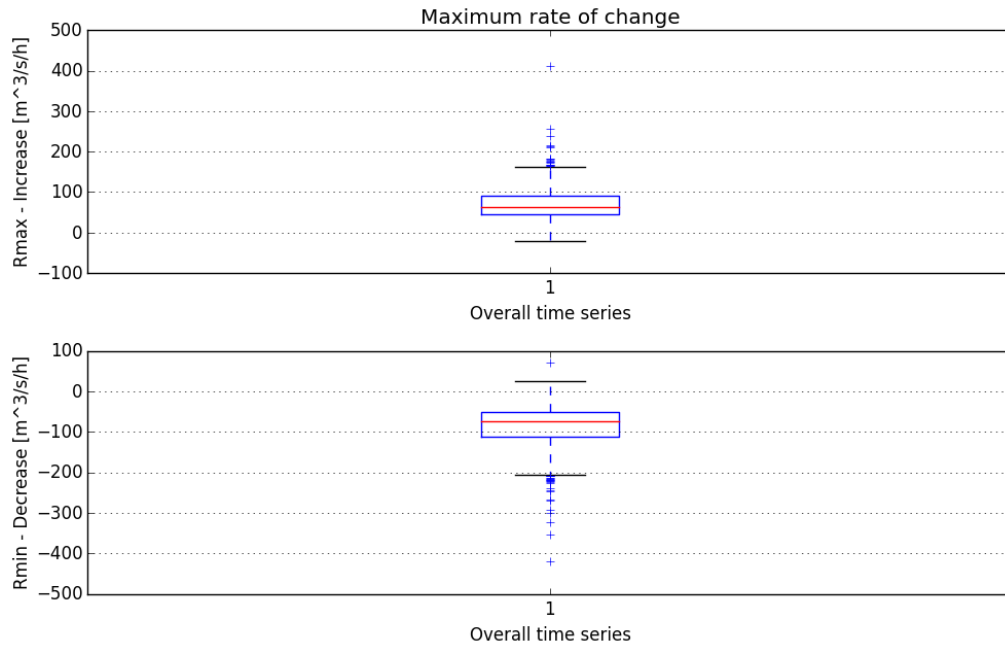


Figura A7.160 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

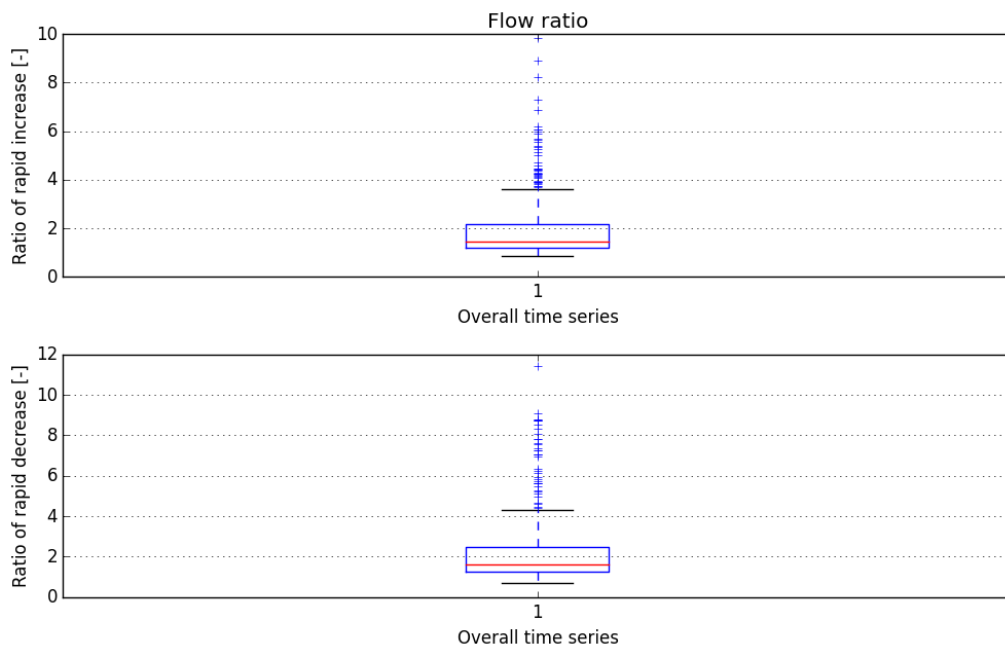


Figura A7.161 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 24

No faltan datos en este caso.

Se observa un comportamiento marcadamente estacional del *hydropeaking*, puesto que sólo ocurre en los meses de verano y otoño, cuando los caudales son menores, con fluctuaciones de alta magnitud y frecuencia. Se trata de una central de pasada ubicada inmediatamente aguas abajo de un lago grande, que le entrega capacidad de regulación, además de suavizar el hidrograma natural.

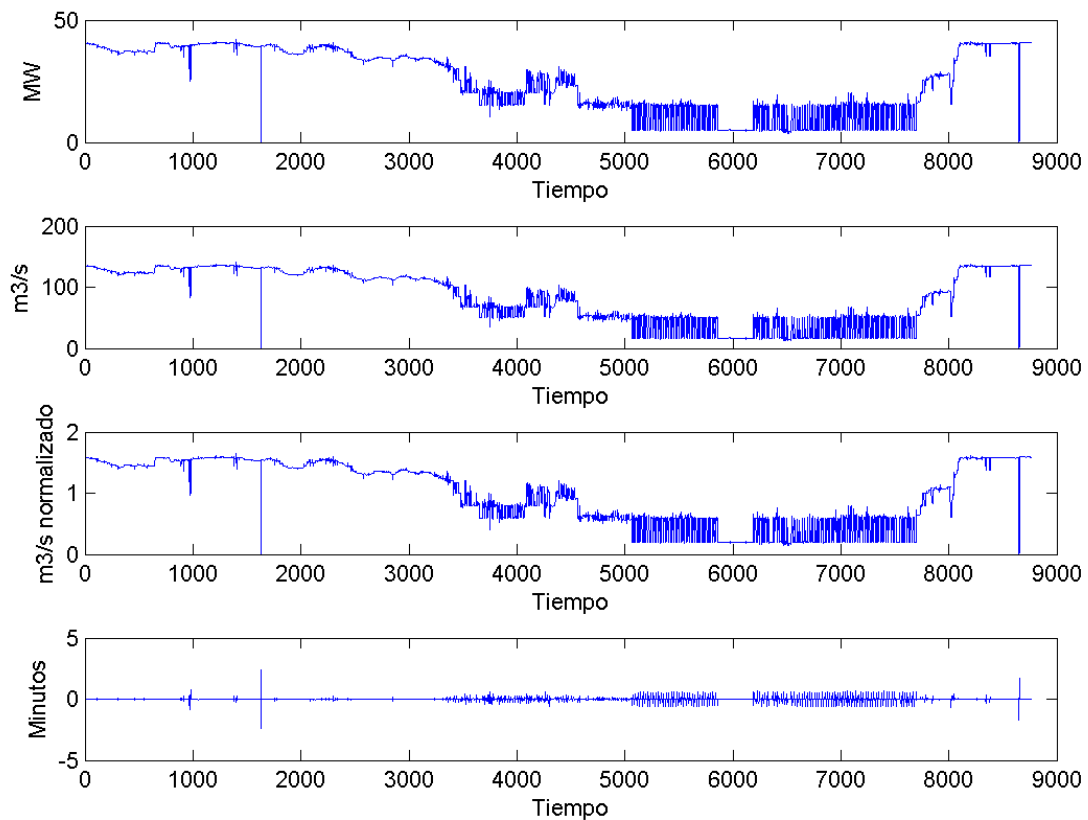


Figura A7.162 Comportamiento estimado en operación real de la Central 24  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Un 70% de los eventos de caudal alto tienen duración instantánea, y el percentil 90% es de 7 horas. En el caso de los eventos de caudal bajo, sólo un 35% es instantáneo, y el percentil 90% está en torno a las 9 horas.

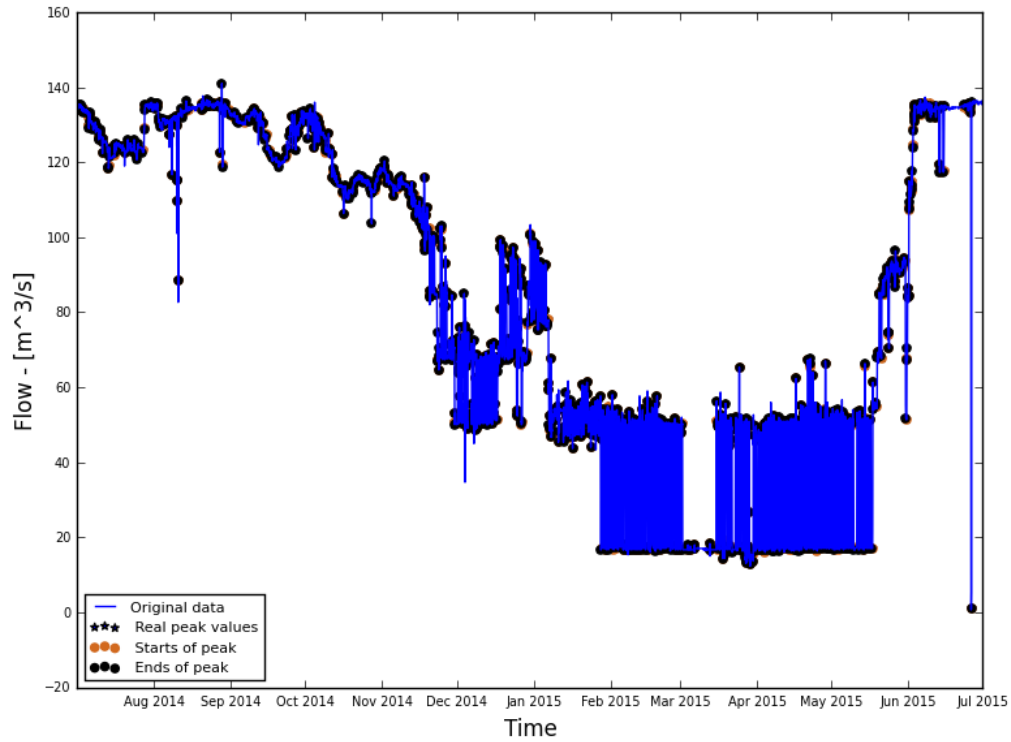


Figura A7.163 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

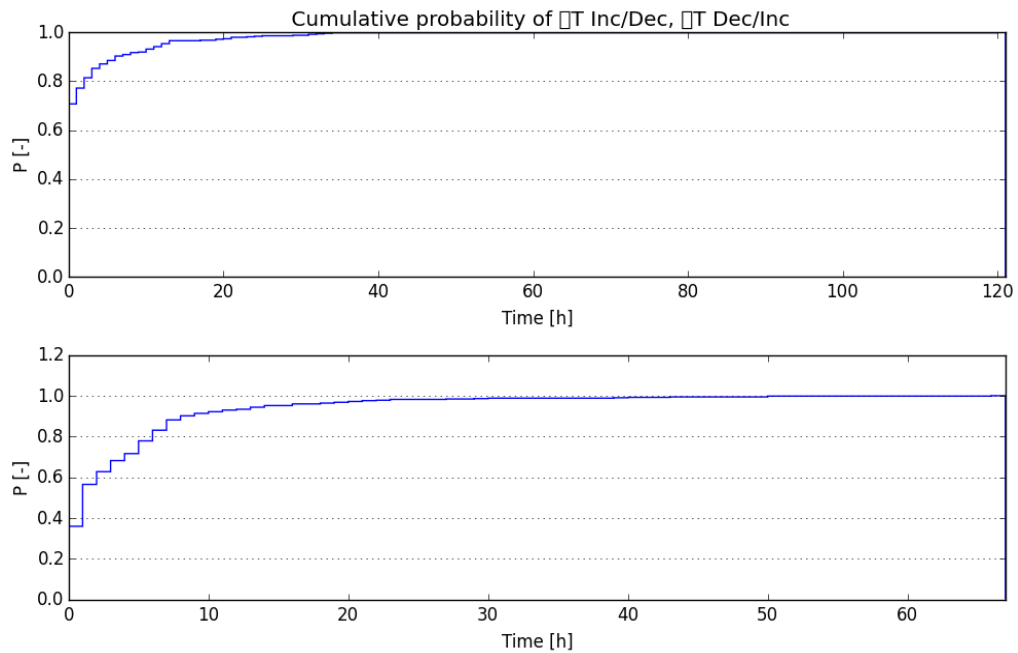


Figura A7.164 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

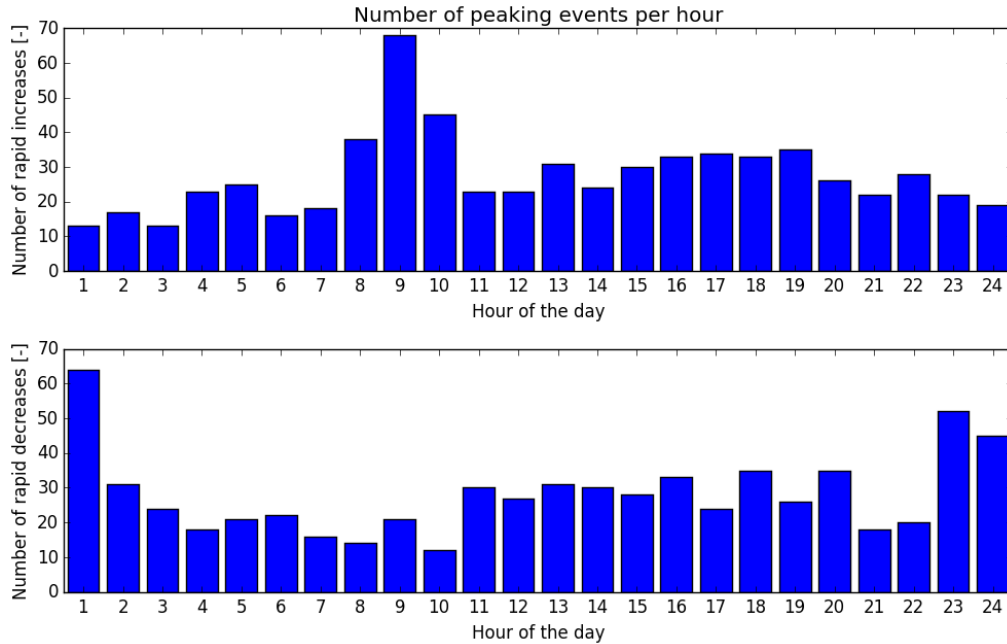


Figura A7.165 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

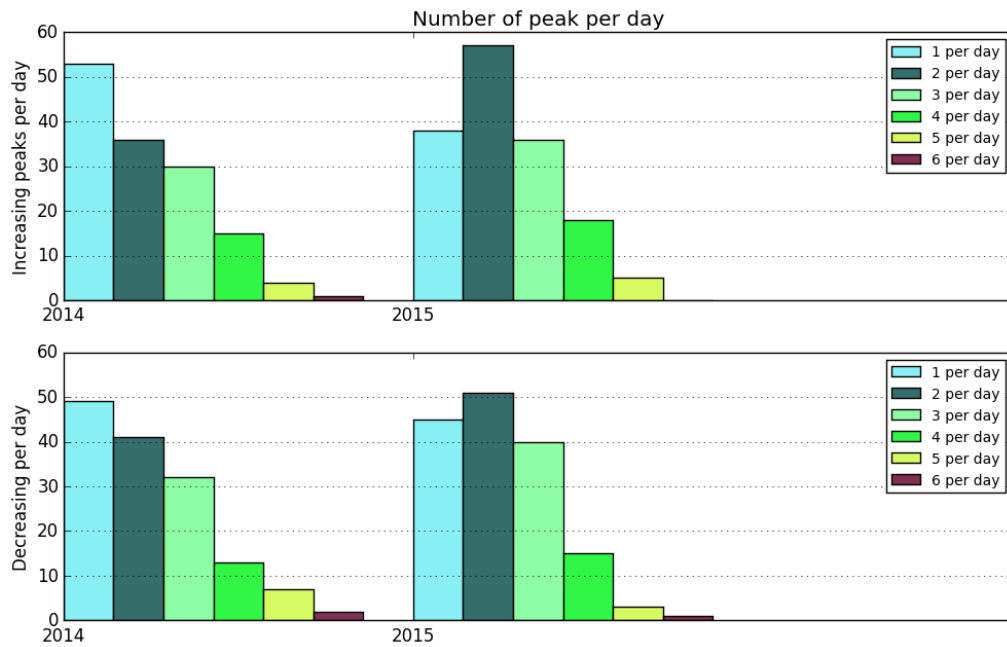


Figura A7.166 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida pueden ocurrir en cualquier momento del día pero la probabilidad es mayor entre las 8 y las 10 de la mañana. Típicamente ocurren uno, dos o tres eventos diarios.

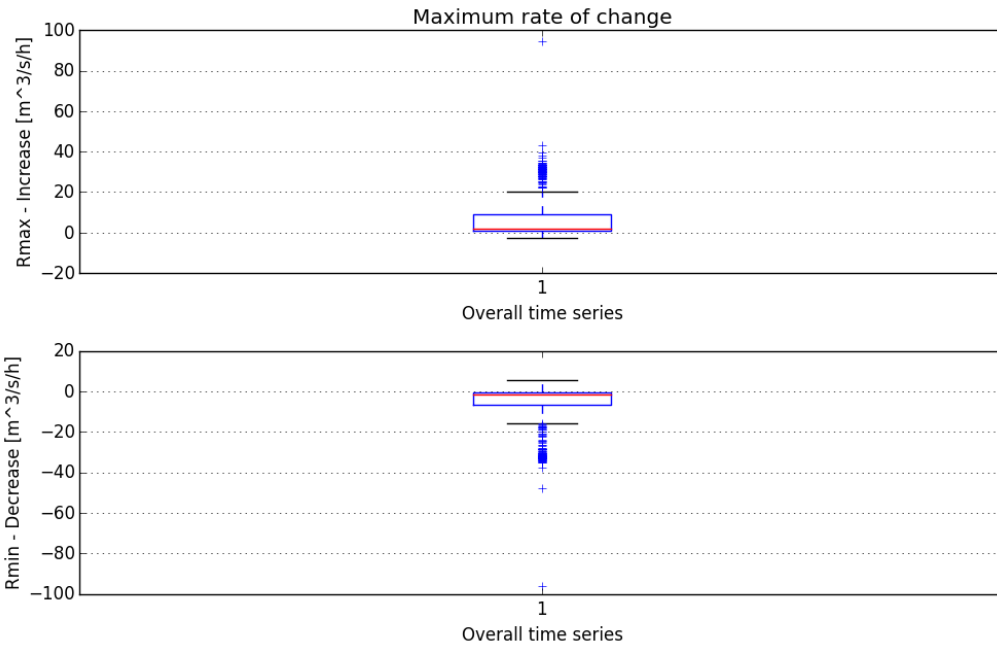


Figura A7.167 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

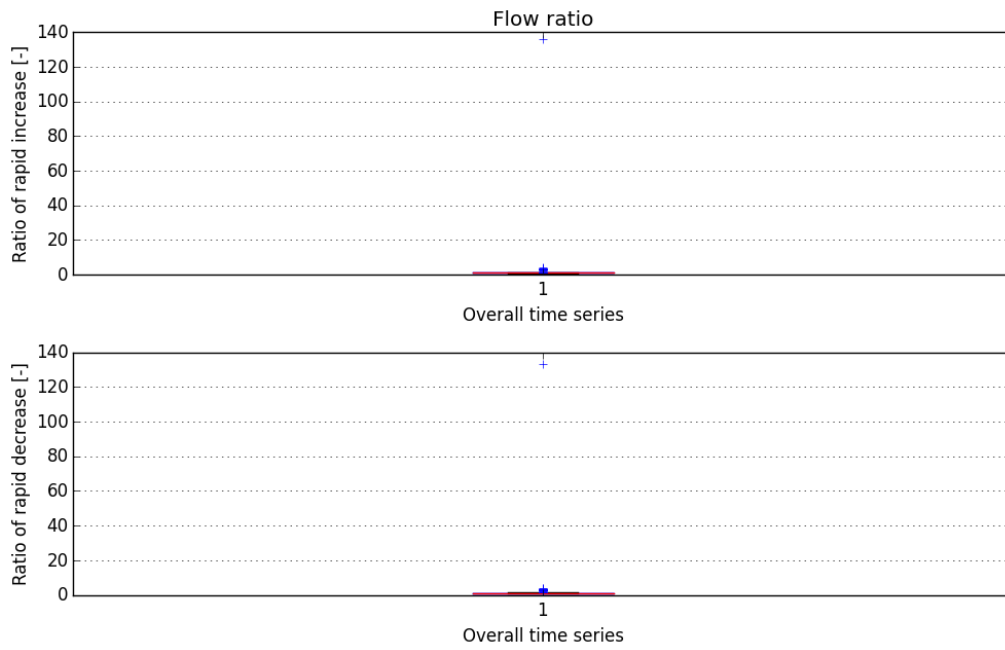


Figura A7.168 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 25

Faltan 742 datos en esta serie, que corresponde a una presa al pie de un embalse de riego, por lo que los caudales turbinados probablemente siguen las necesidades de entregas.

Este caso fue el único bajo análisis en que se tuvo que eliminar unos pocos (cuatro) valores horarios que sin lugar correspondían a *outliers*, por ser notablemente mayores al máximo técnico de generación informado por el proveedor de la turbina. Se evidencia fluctuaciones de alta frecuencia y baja magnitud, superimpuestas sobre una variabilidad a mayor escala.

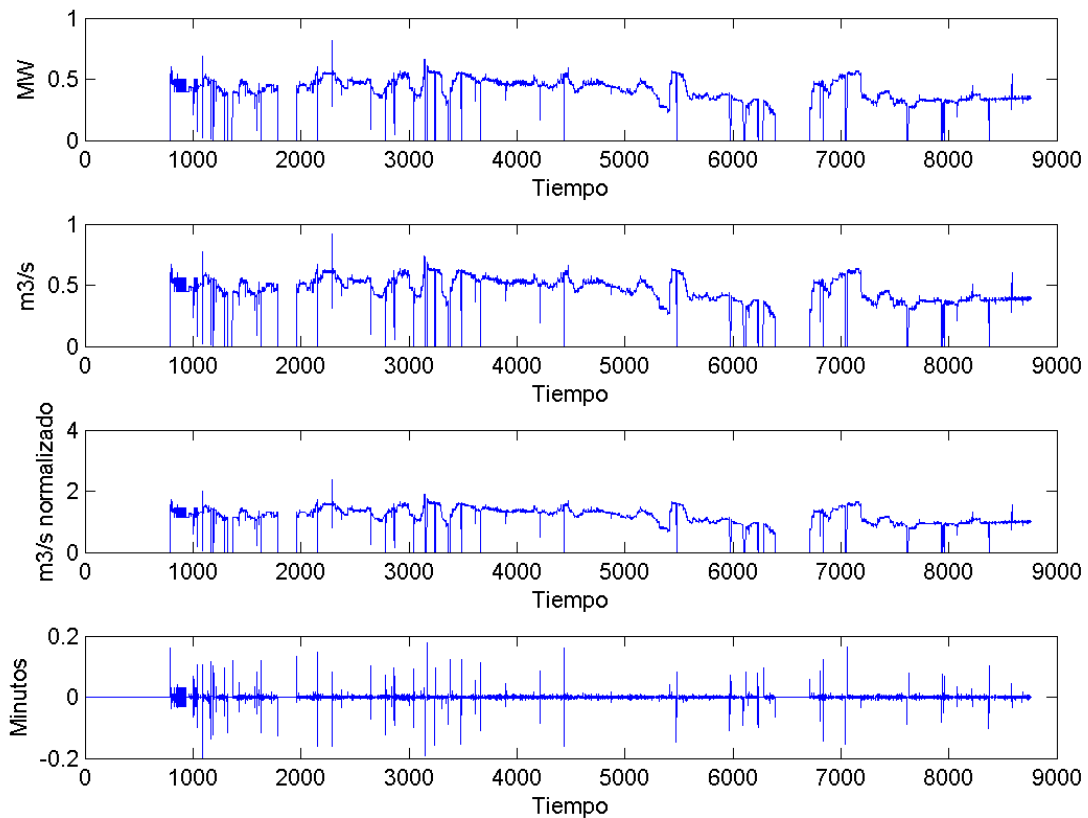


Figura A7.169 Comportamiento estimado en operación real de la Central 25  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El 90% de los períodos con caudal alto duran 4 horas o menos, y la cifra es similar para la duración de los valles.

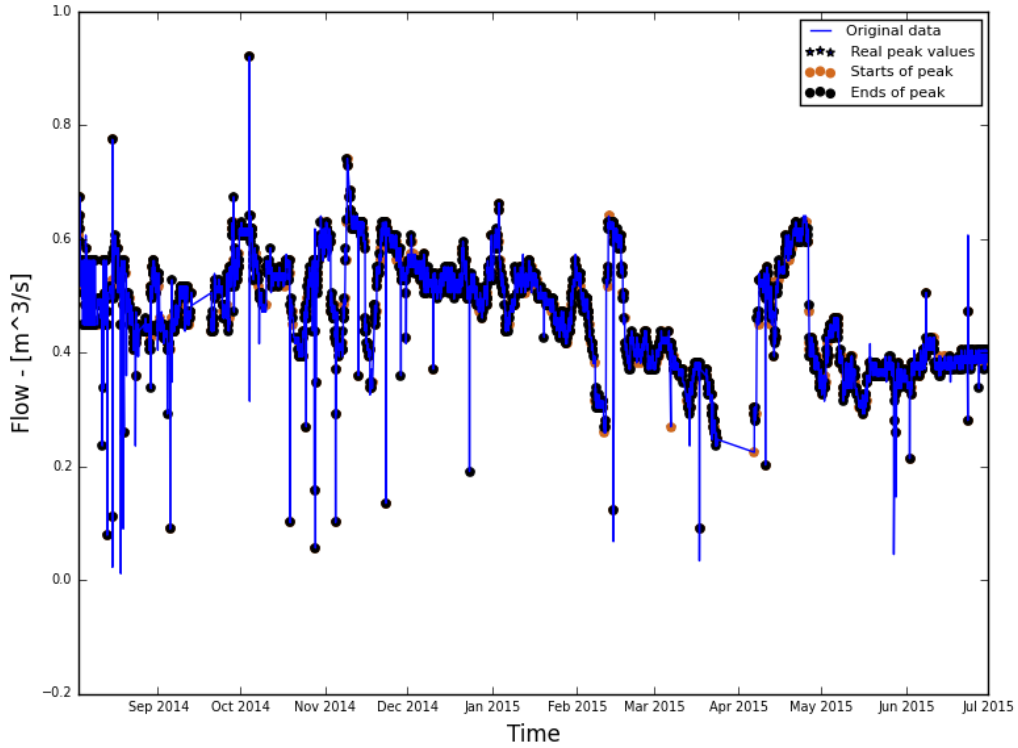


Figura A7.170 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

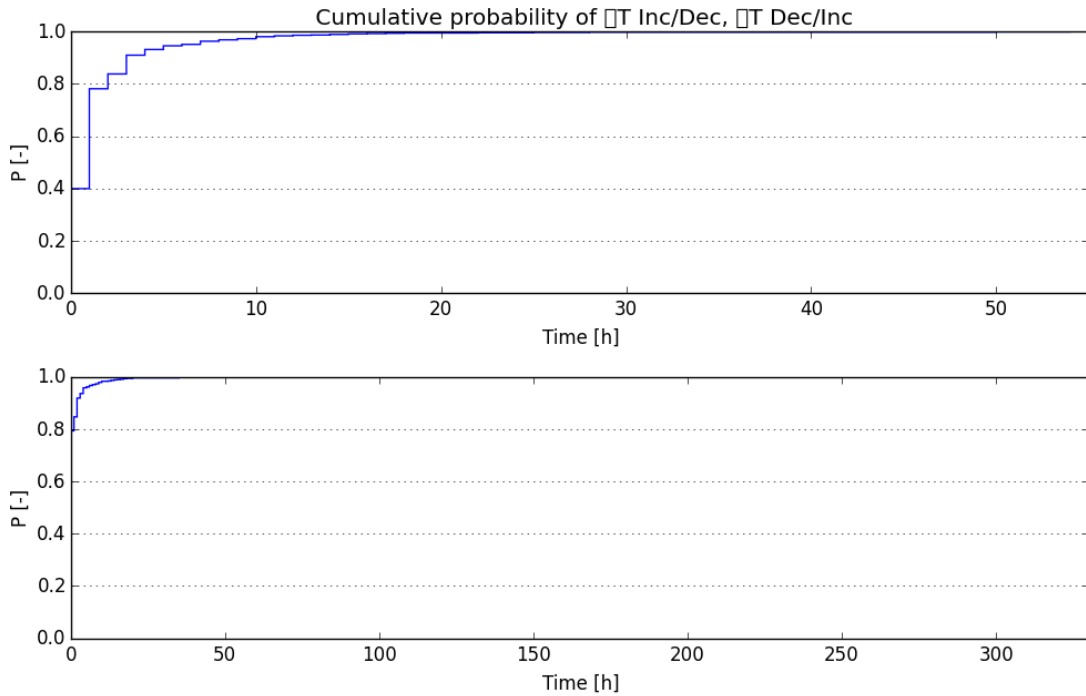


Figura A7.171 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



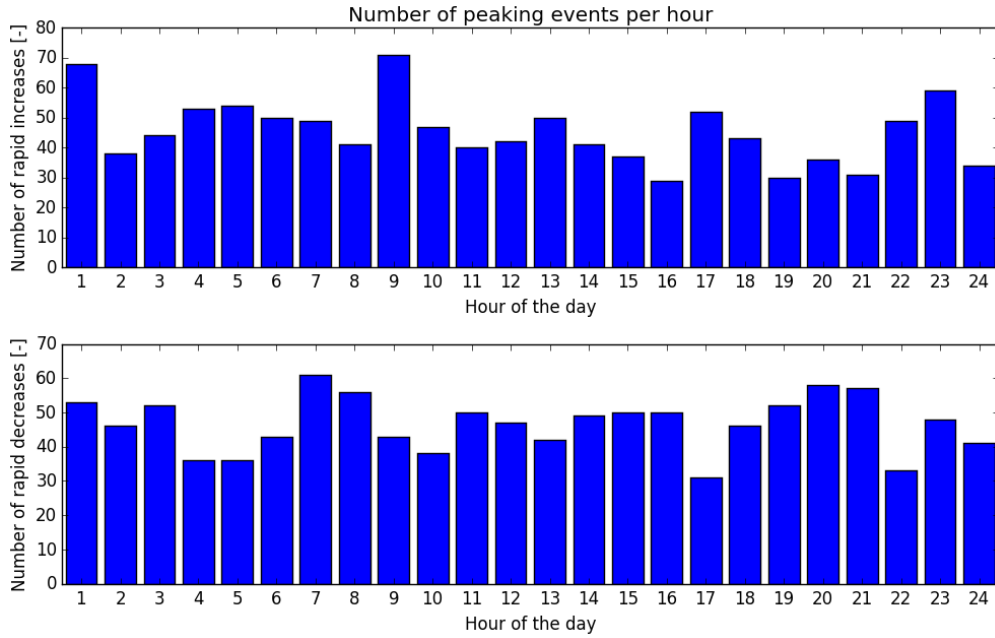


Figura A7.172 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

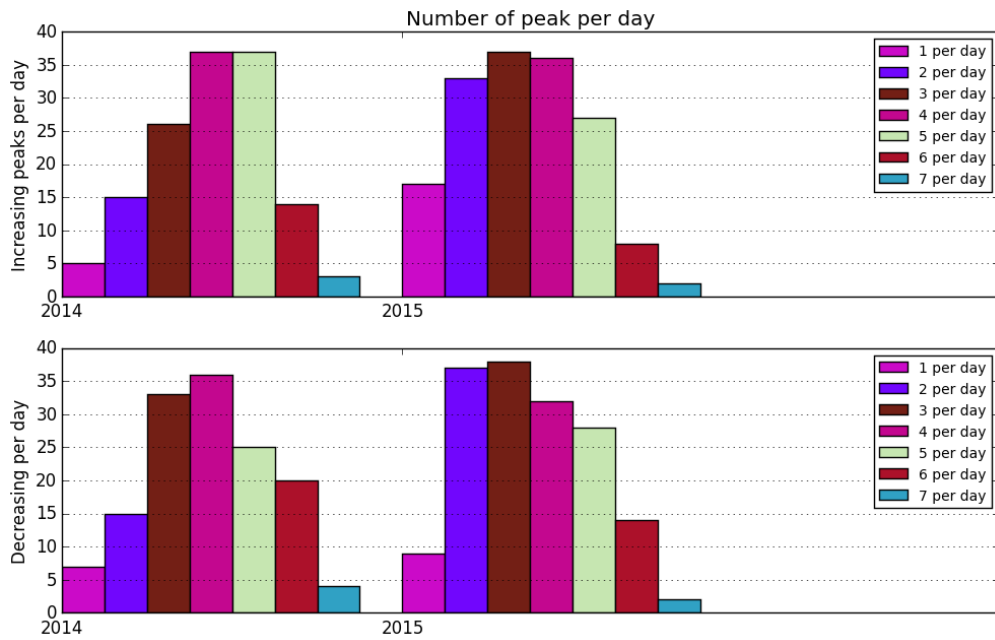


Figura A7.173 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

No se observa ninguna tendencia durante el día, pudiendo ocurrir eventos en cualquier momento. La frecuencia de los eventos es muy alta, siendo típicamente de 3, 4 o 5 eventos diarios.

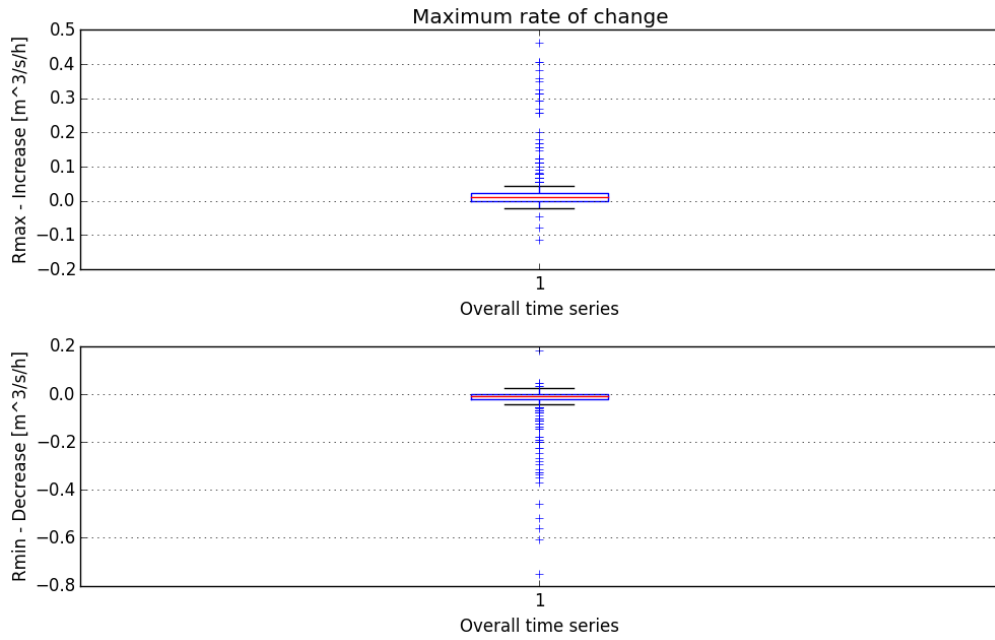


Figura A7.174 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

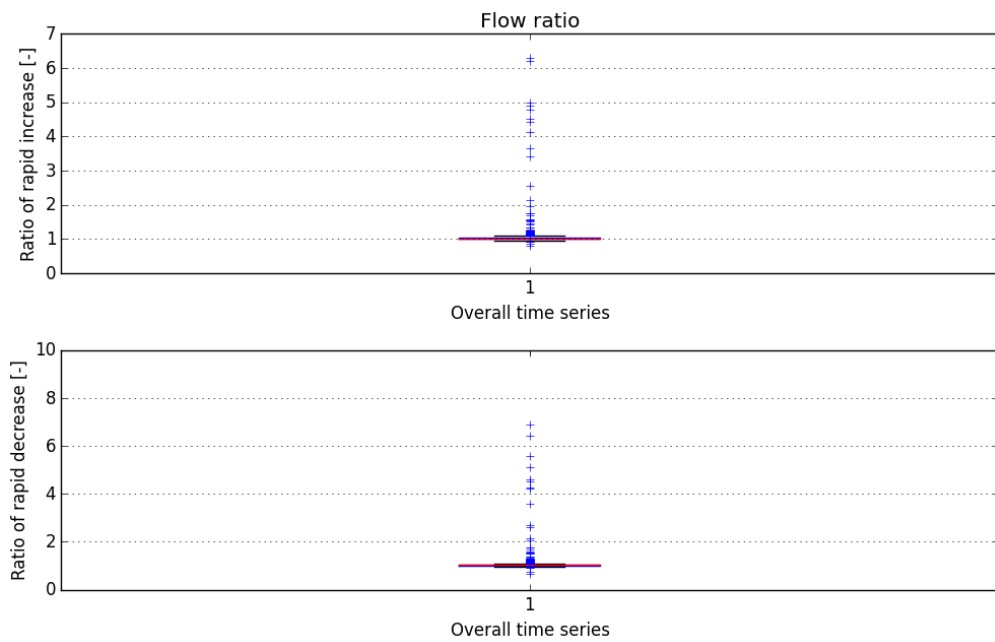


Figura A7.175 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 26

En esta serie falta un 10% de los datos horarios.

Esta central de pasada tiene capacidad de regulación diaria, lo que le permite seguir el hidrograma, superimponiendo fluctuaciones diarias de *hydropeaking*. El hidrograma natural es muy regular porque corresponde al desagüe de un lago grande. Las fluctuaciones son del orden de los 30 a 40 m<sup>3</sup>/s, y ocurren en cualquier momento del año.

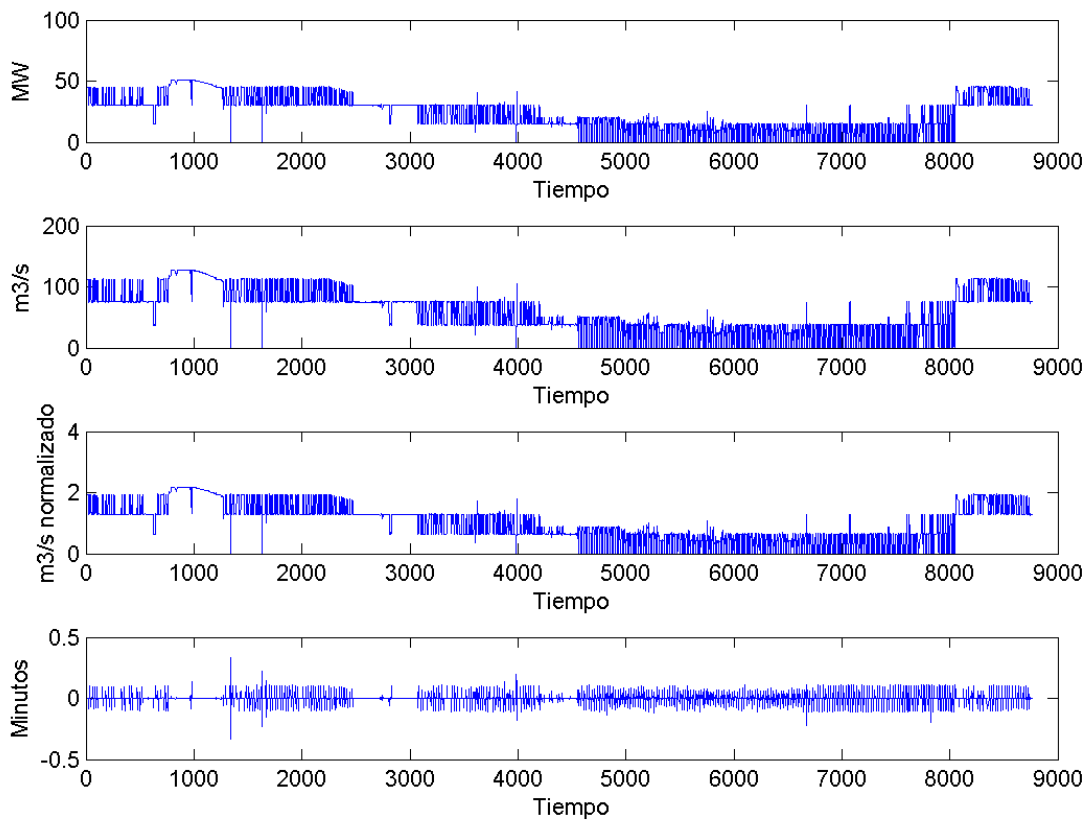


Figura A7.176 Comportamiento estimado en operación real de la Central 26

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El 90% de los pulsos de caudal alto duran menos de 15 horas, y la cifra es parecida para el caso de los episodios de caudal bajo. Un 60% de los valles es instantáneo.

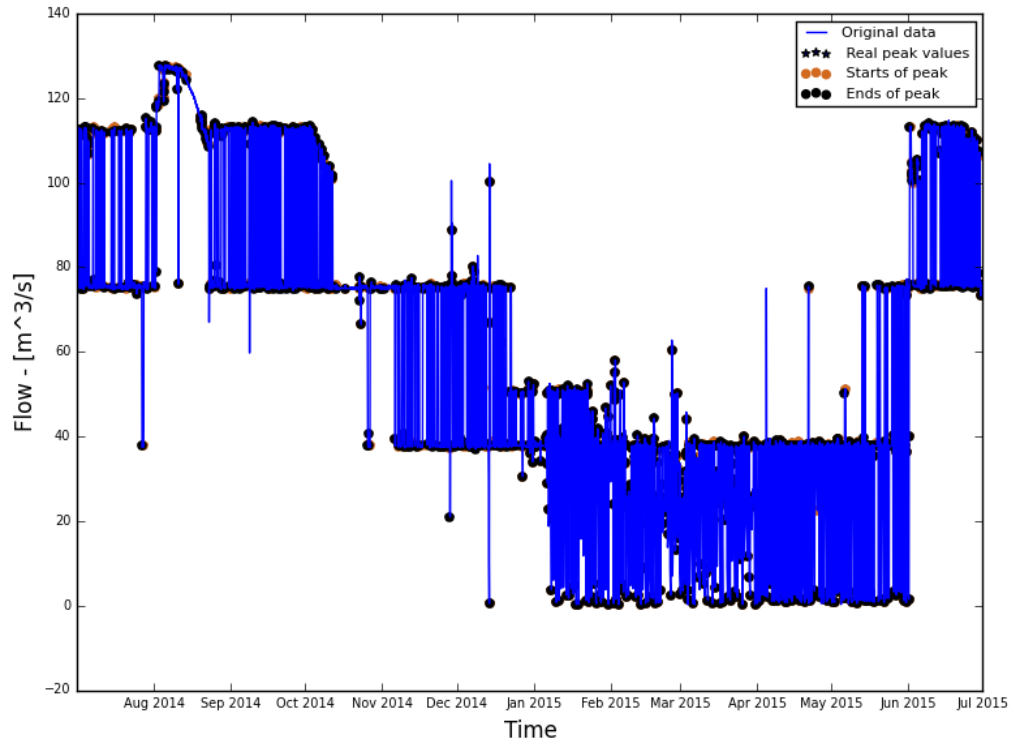


Figura A7.177 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

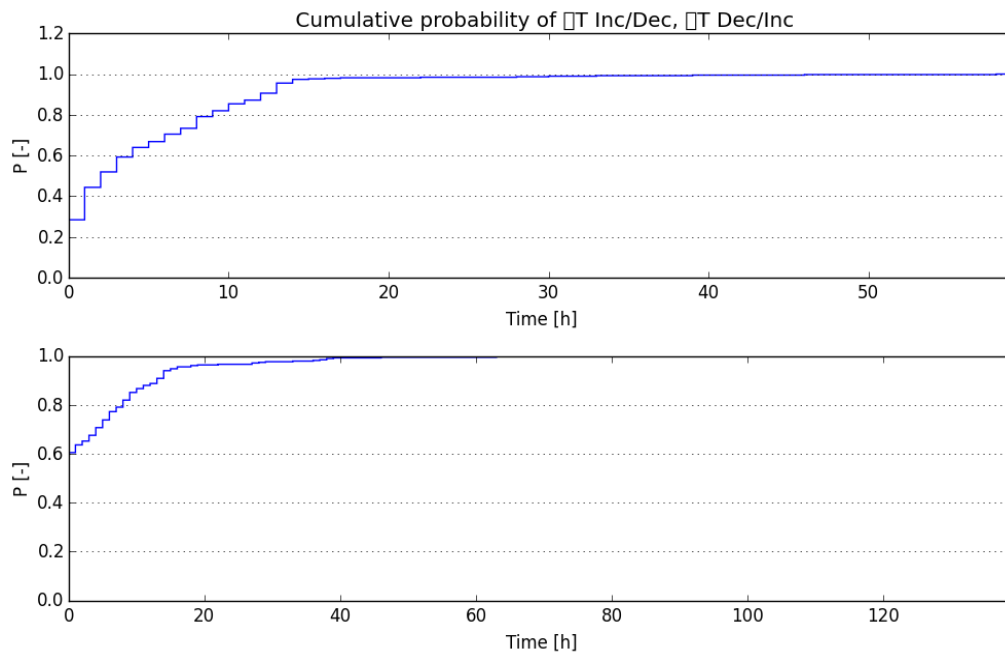


Figura A7.178 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

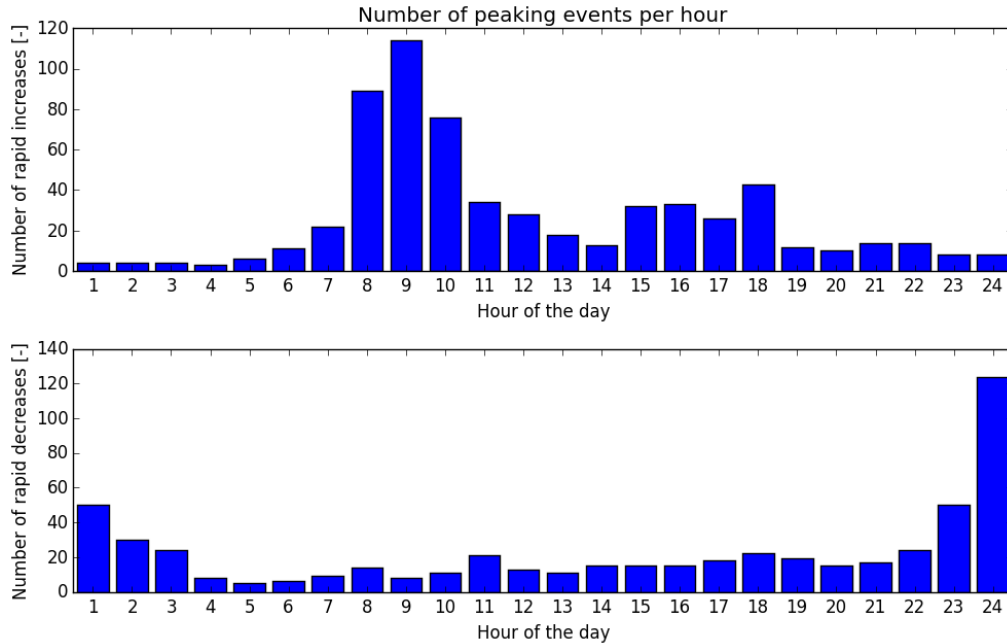


Figura A7.179 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

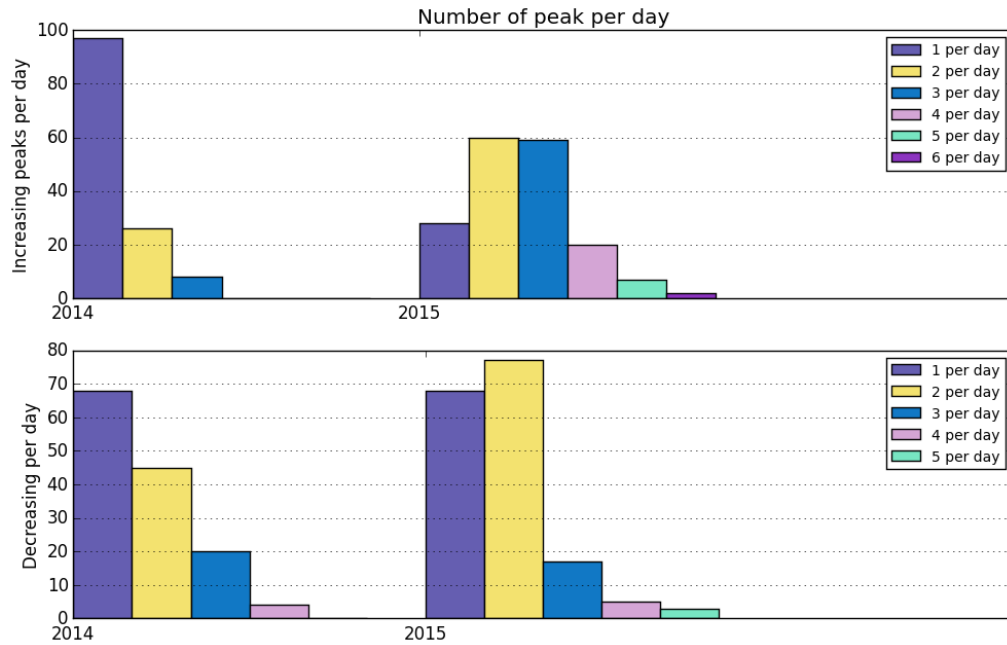


Figura A7.180 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida tienen un comportamiento muy claro, ocurriendo principalmente en las mañanas, de 7 a 13, con un máximo de probabilidad a las 9. Los eventos de bajada ocurren de noche, entre las 23 y las 3.

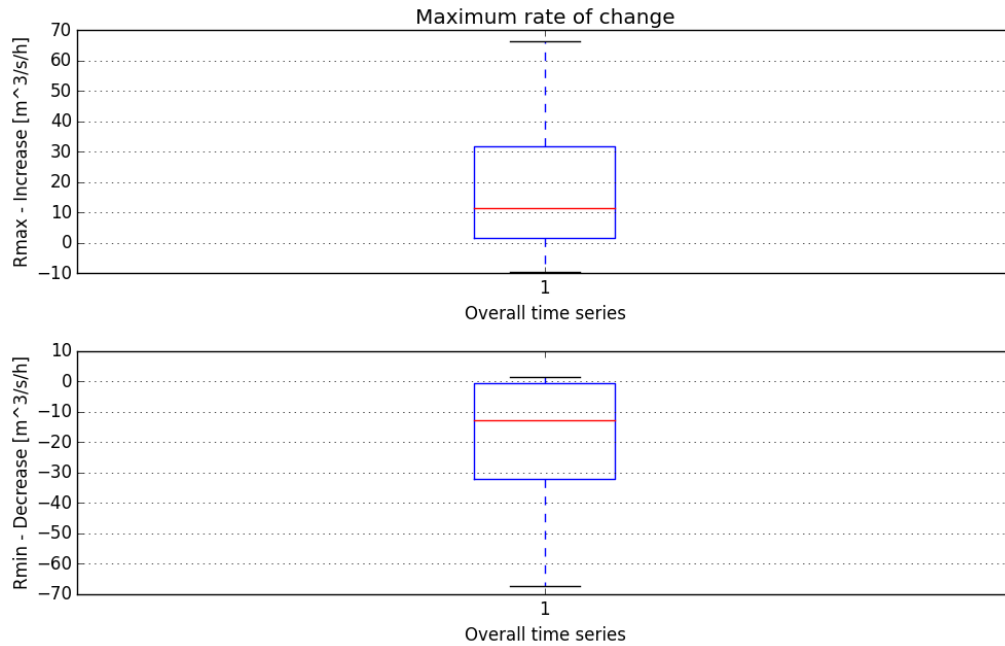


Figura A7.181 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

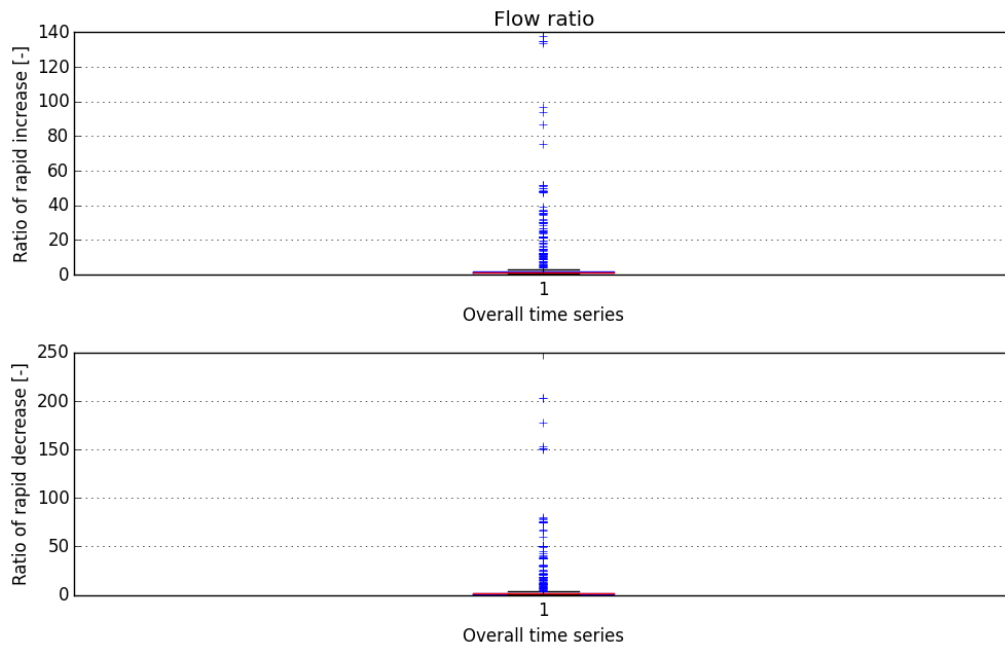


Figura A7.182 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 27

En esta caso faltan 339 datos horarios, menos de un 4% de la longitud total de la serie.

Si bien se observa claramente los efectos de la generación de punta, no se ve una estacionalidad marcada, como en algunos de los casos anteriores. Por otra parte, la magnitud de las fluctuaciones es en general muy moderada, con excepción de algunos eventos con bruscas disminuciones.

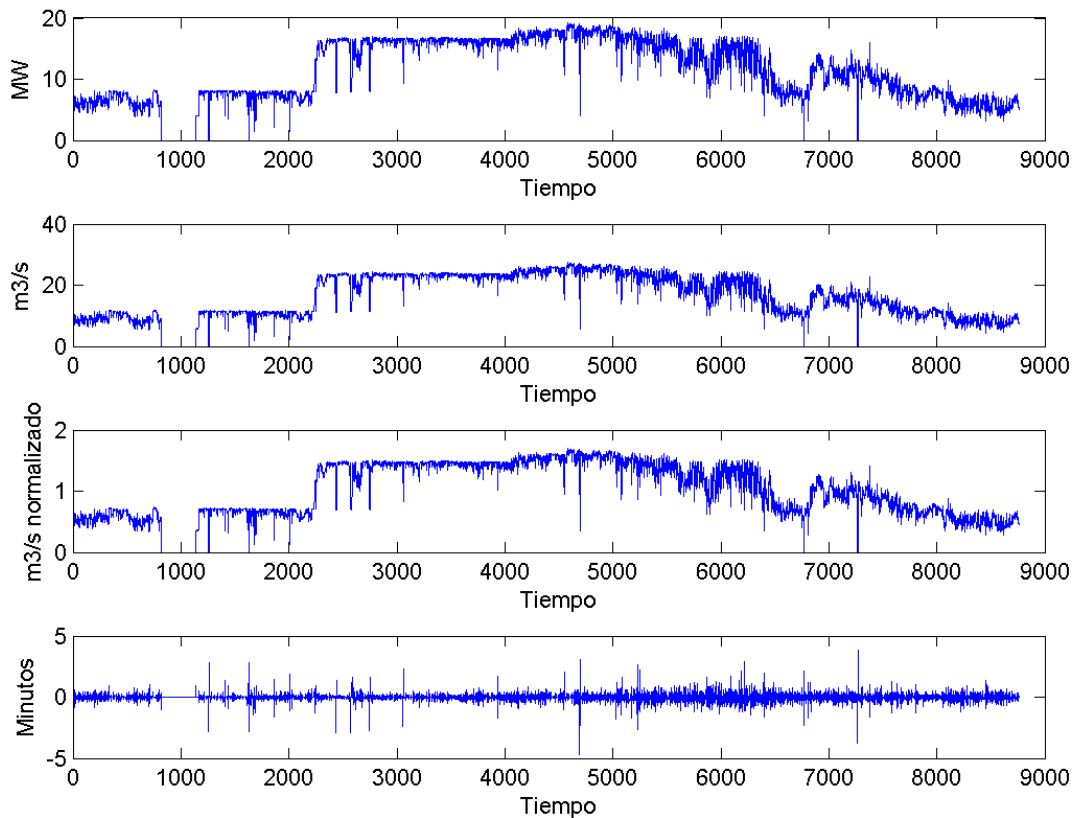


Figura A7.183 Comportamiento estimado en operación real de la Central 27

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Un 60% de los eventos de caudal alto tiene duración instantánea, y un 90% de ellos dura 11 horas o menos. Los eventos de bajo caudal son más cortos: un 90% de éstos dura 5 horas o menos.

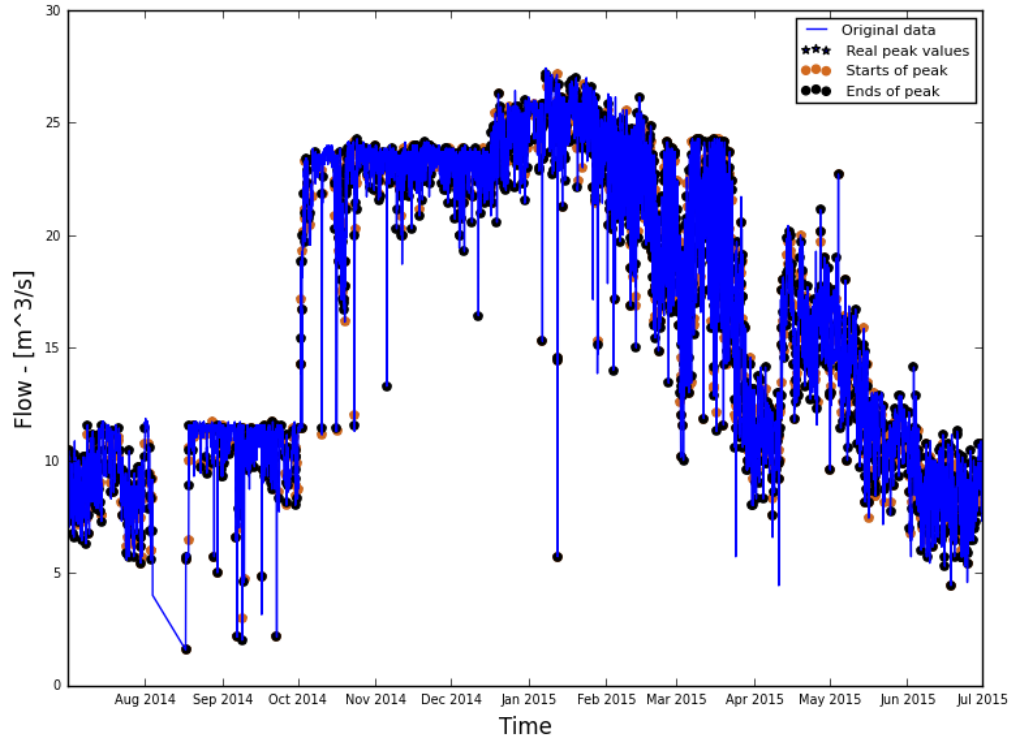


Figura A7.184 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

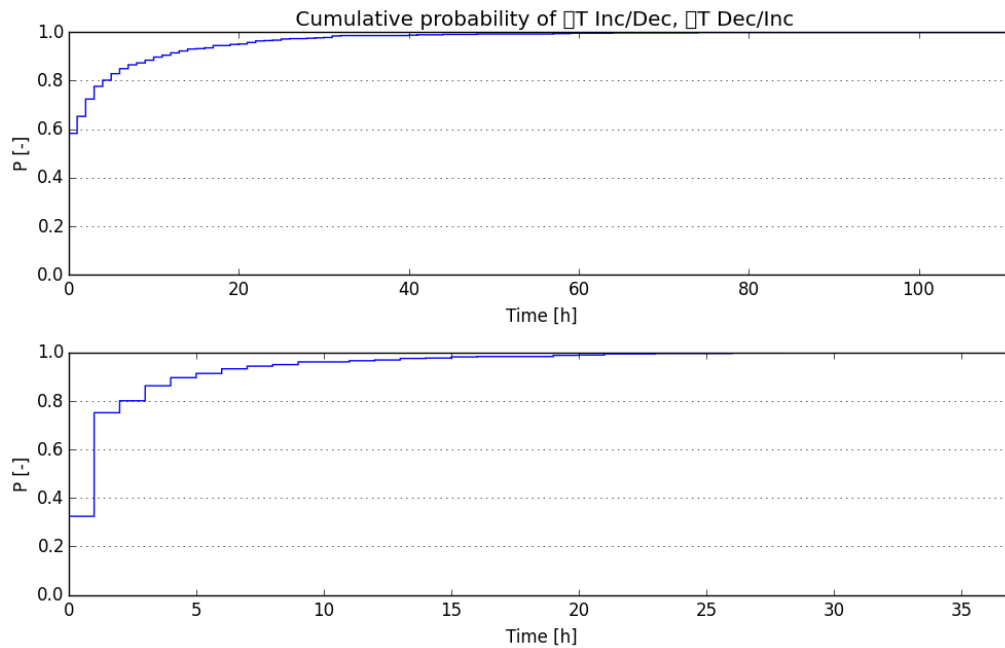


Figura A7.185 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



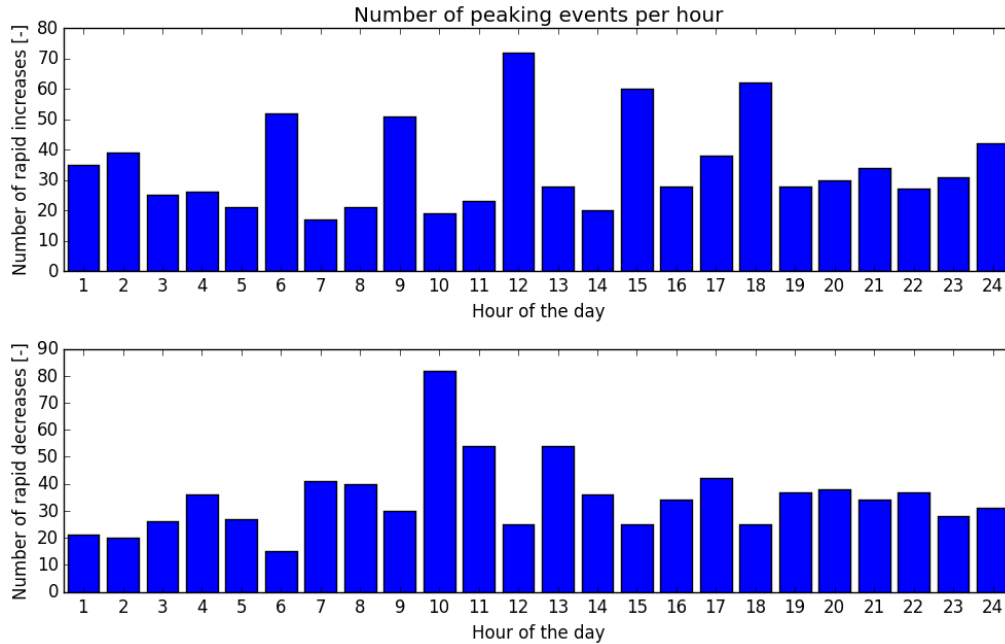


Figura A7.186 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

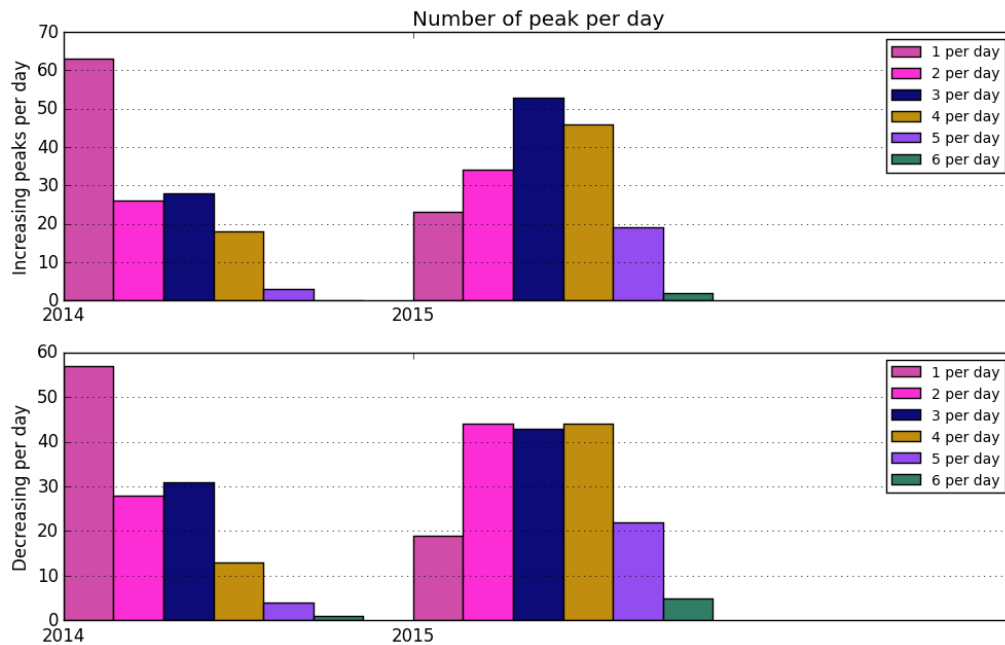


Figura A7.187 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de *peaking* pueden ocurrir en cualquier momento del día, y su frecuencia es altamente variable, pudiendo tenerse 1, 2, 3 o 4 eventos diarios.

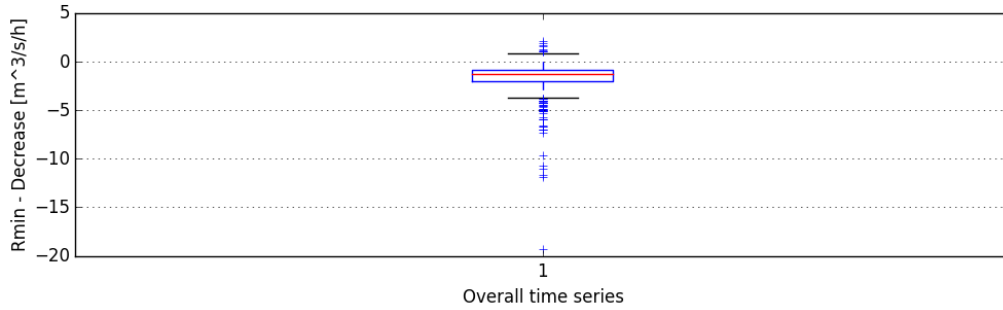
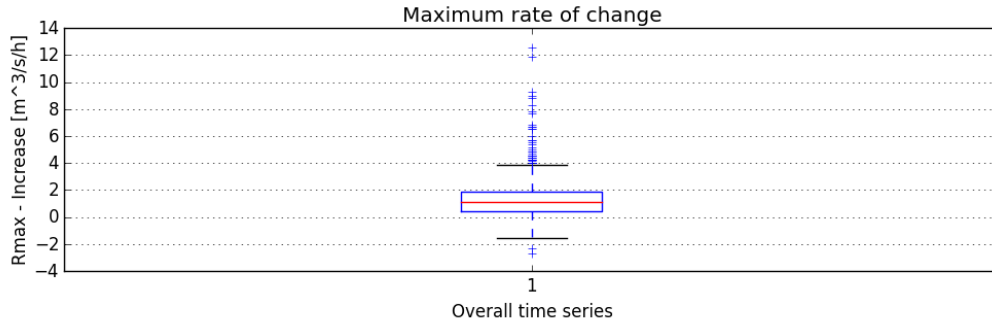


Figura A2.188 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

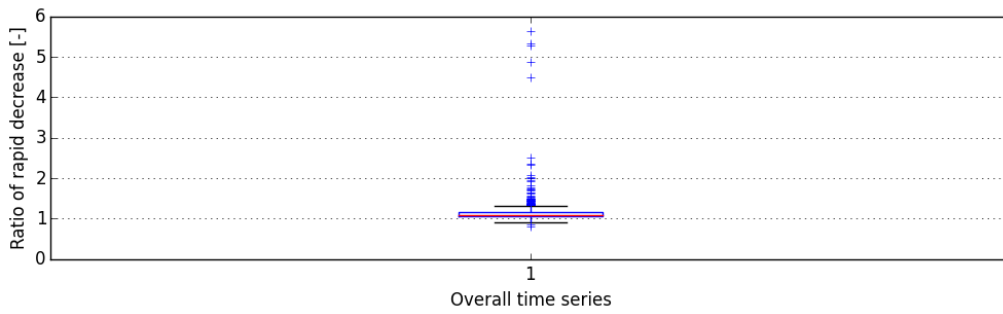
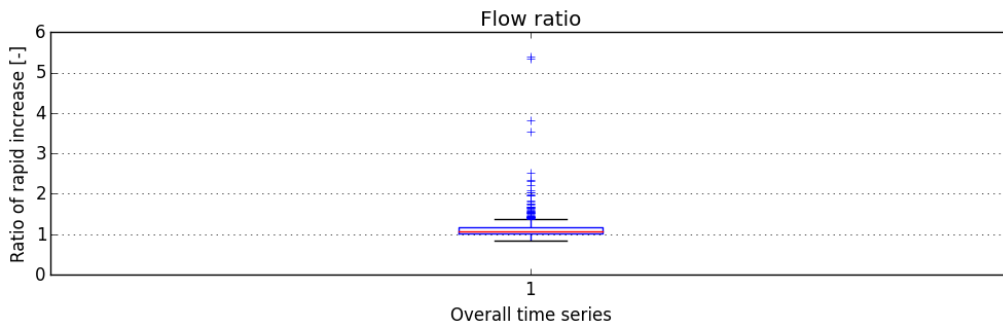


Figura A7.189 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 28

Sólo faltan 9 datos horarios en esta serie.

Se observa *peaking* en los datos, pero hay pocos eventos extremos, y en general el caudal de generación se mantiene bastante constante, con fluctuaciones relativas de baja magnitud, aunque frecuencia bastante alta. No se nota un efecto estacional claro.

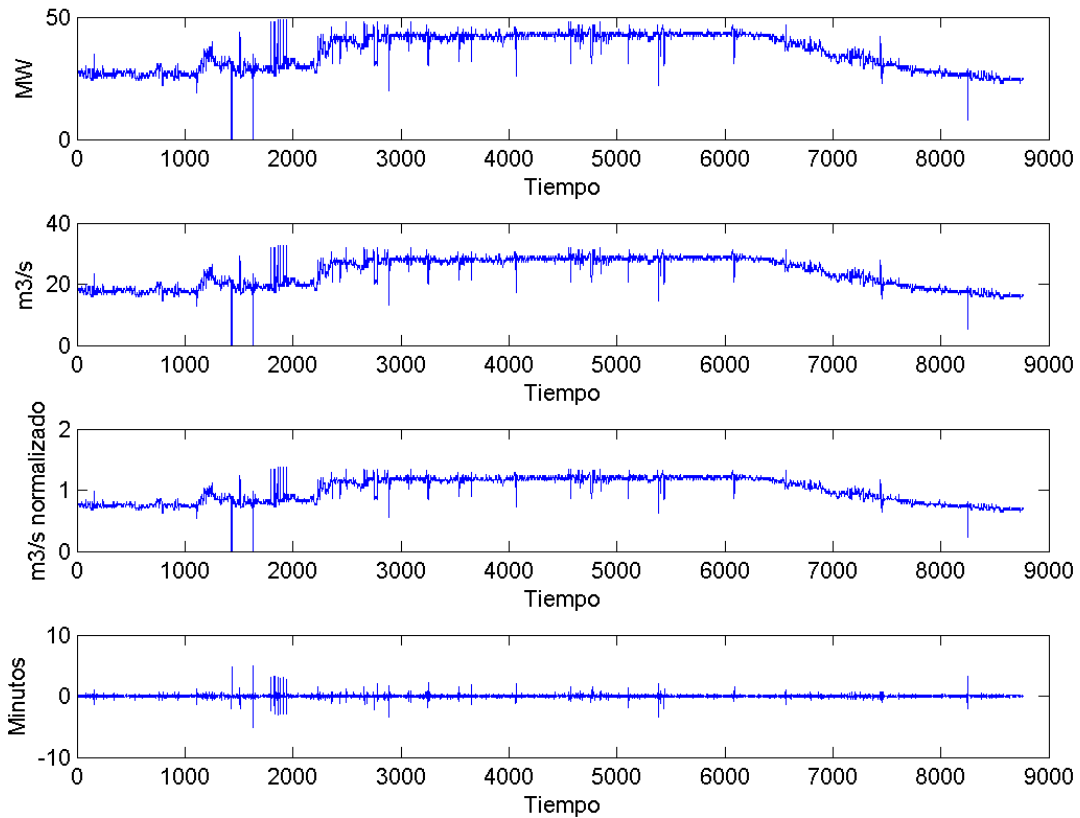


Figura A7.190 Comportamiento estimado en operación real de la Central 28

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Tanto para los eventos de caudal alto como bajo, el percentil 90% para su duración está en torno a las 7 horas.

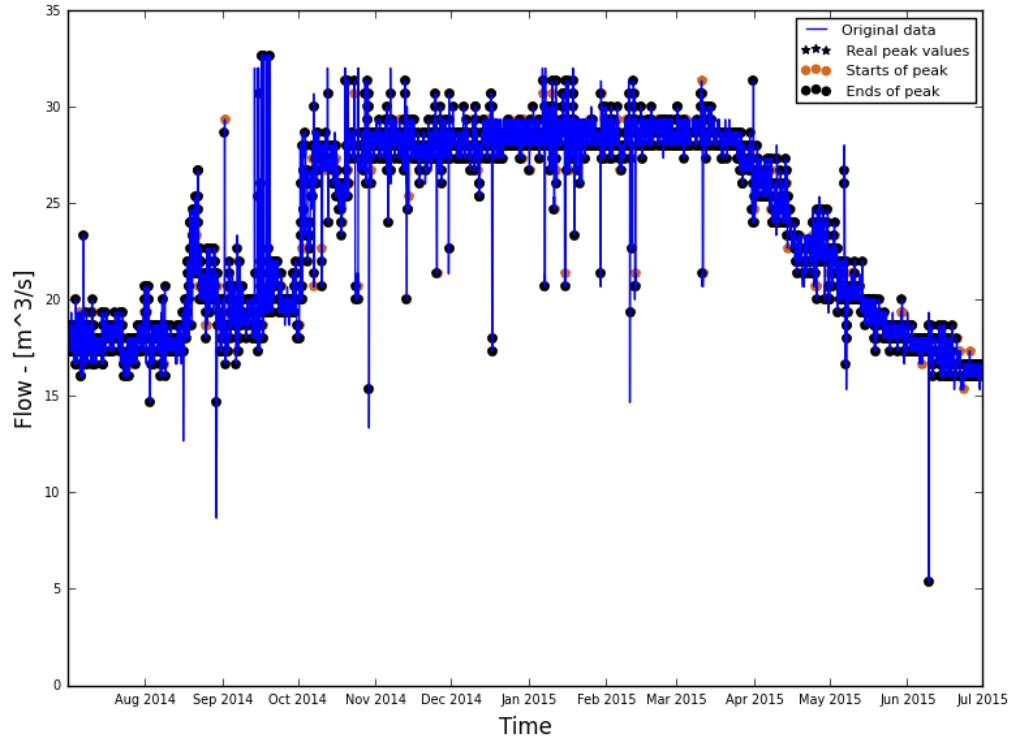


Figura A7.191 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

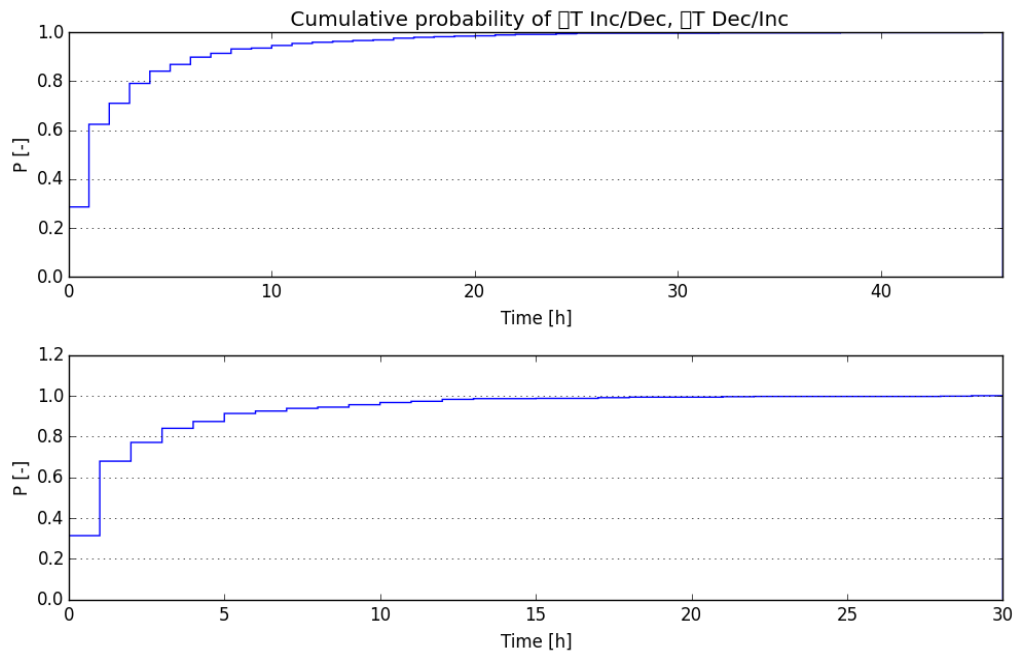


Figura A7.192 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

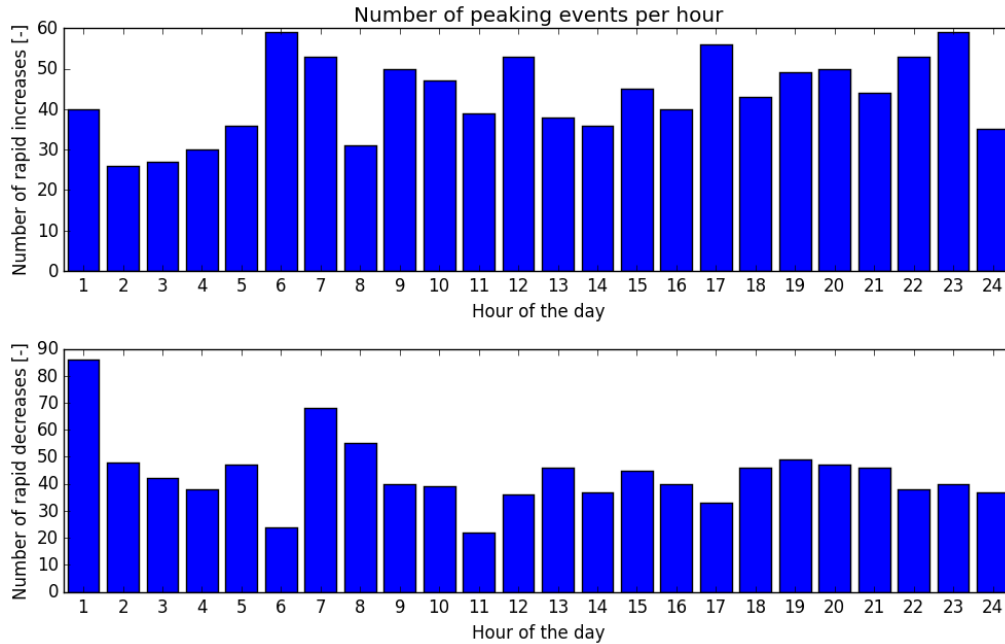


Figura A7.193 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
 a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

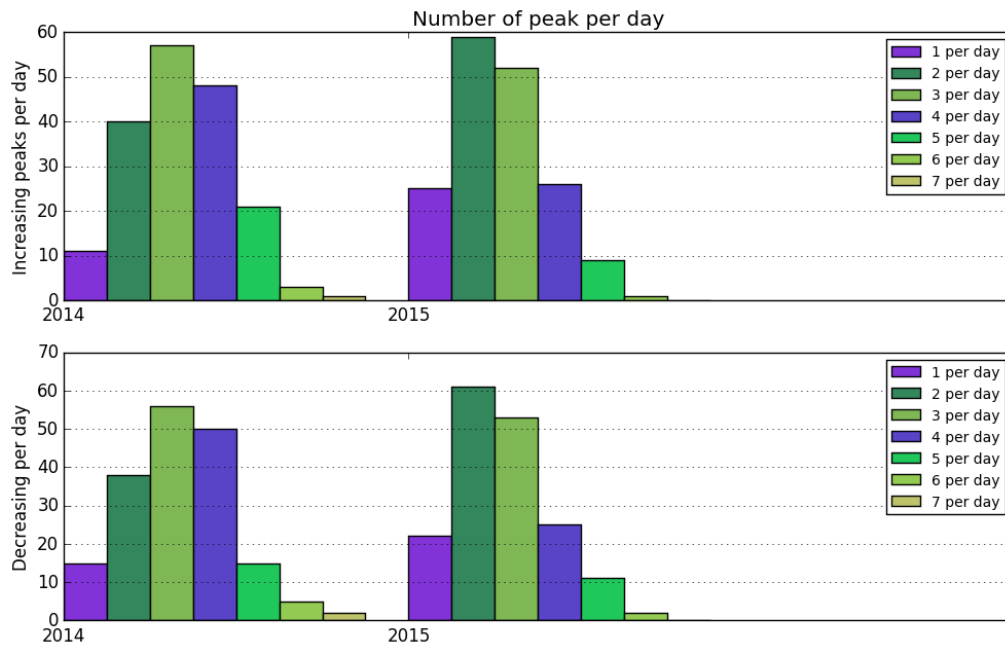


Figura A7.194 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos pueden ocurrir en cualquier instante del día, y su frecuencia de ocurrencia es alta: típicamente hay 2, 3 o 4 eventos diarios.

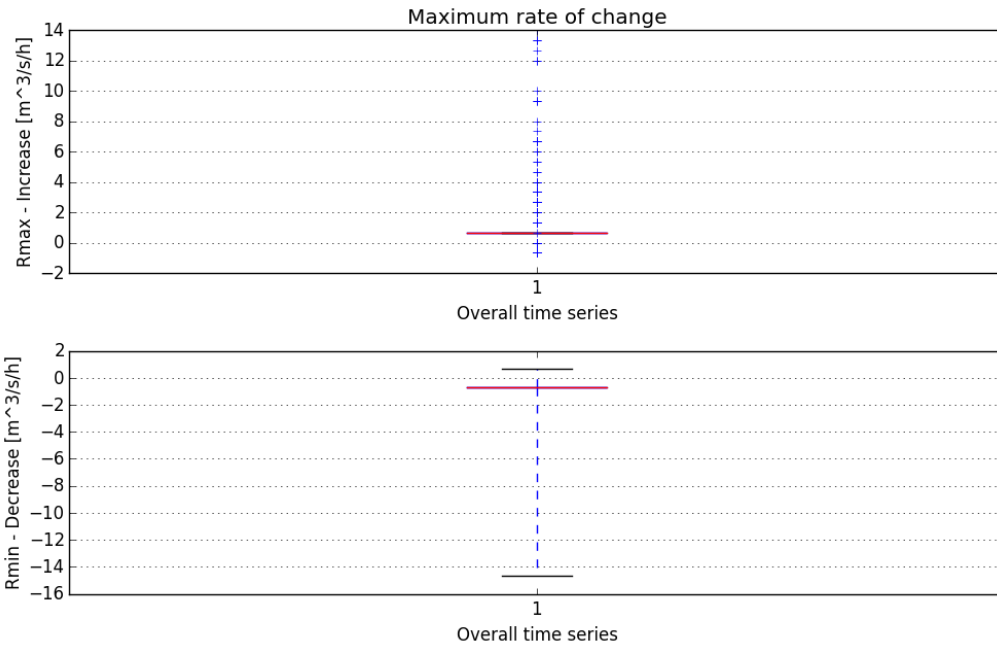


Figura A7.195 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

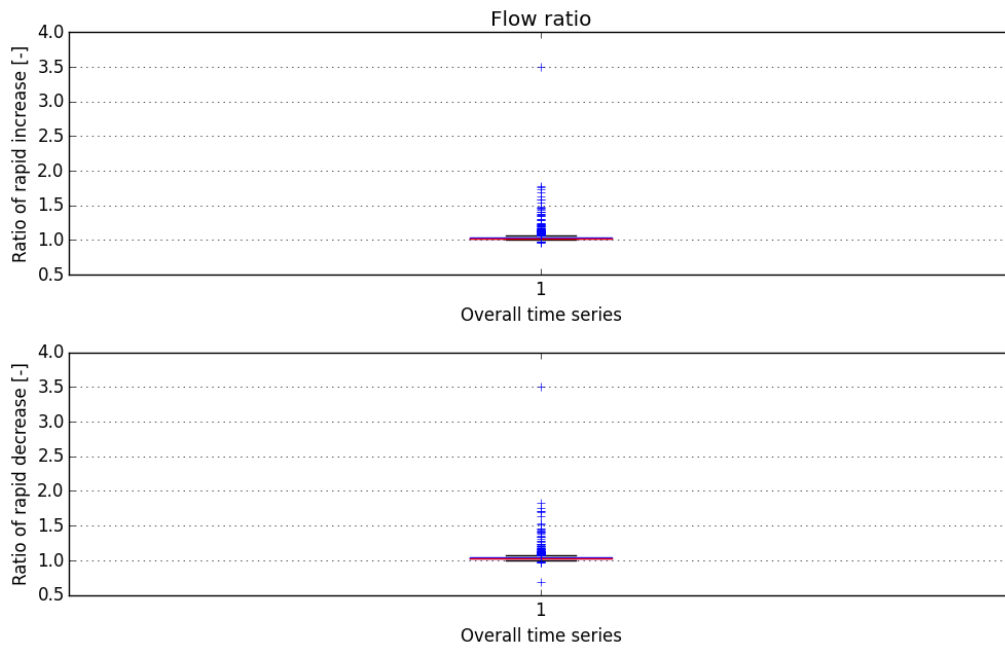


Figura A7.196 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 29

Ésta es la última central en una serie de cuatro plantas. Si bien es netamente de pasada, genera los pulsos introducidos por las centrales desde aguas arriba.

Sólo faltan 7 datos horarios en la serie.

Se pueden observar tres comportamientos distintos a lo largo de las estaciones. En el verano, las fluctuaciones siguen ocurriendo con la misma frecuencia, pero son de magnitud mucho menor. Las máximas fluctuaciones son del orden de los 35 a 40 m<sup>3</sup>/s.

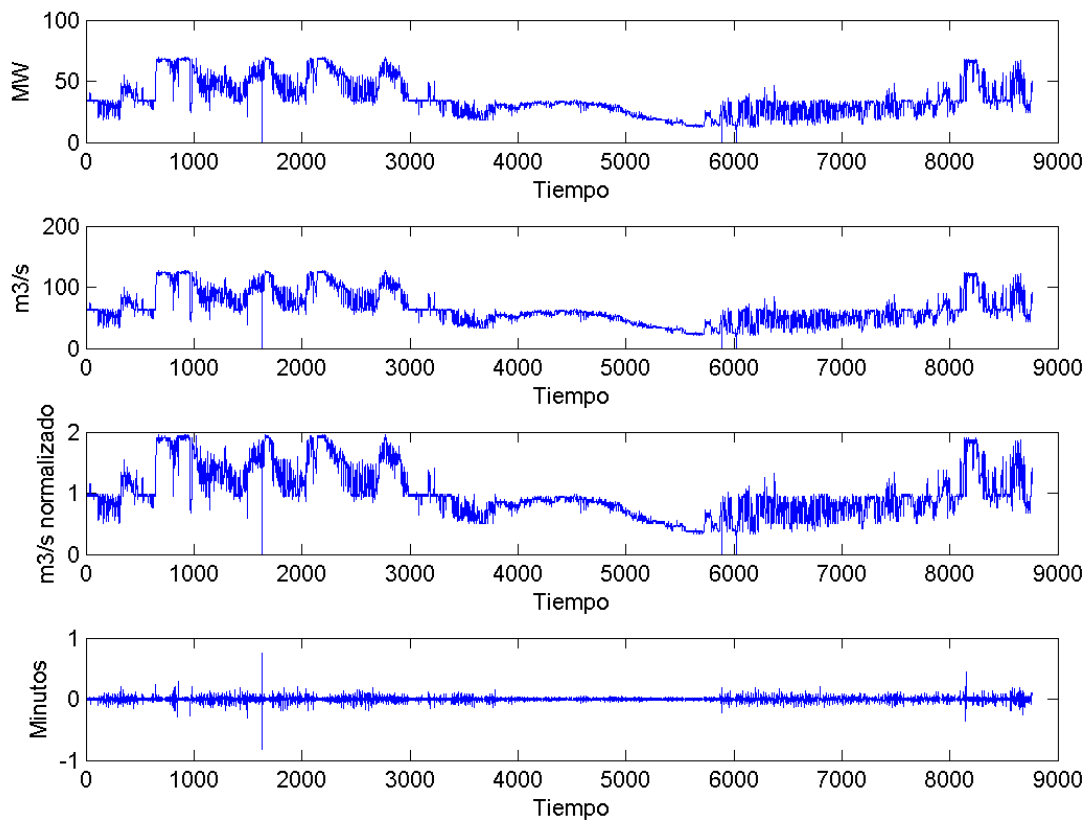


Figura A7.197 Comportamiento estimado en operación real de la Central 29

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El percentil 90% de la duración de los pulsos, tanto altos como bajos, está en torno a las 10 a 12 horas.

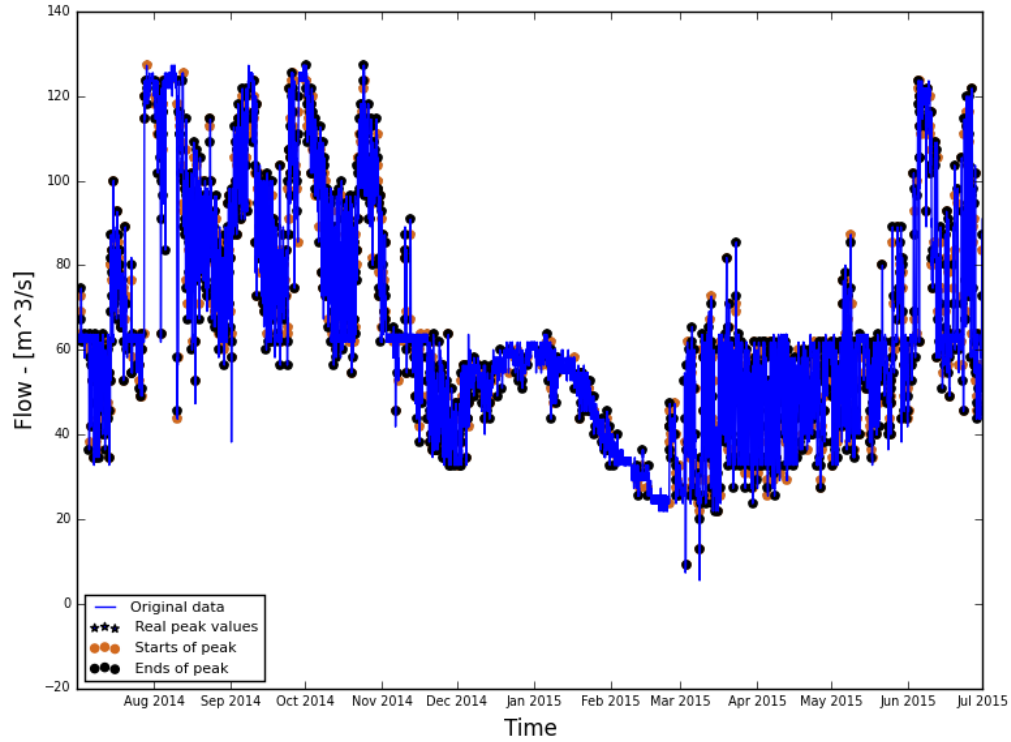


Figura A7.198 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

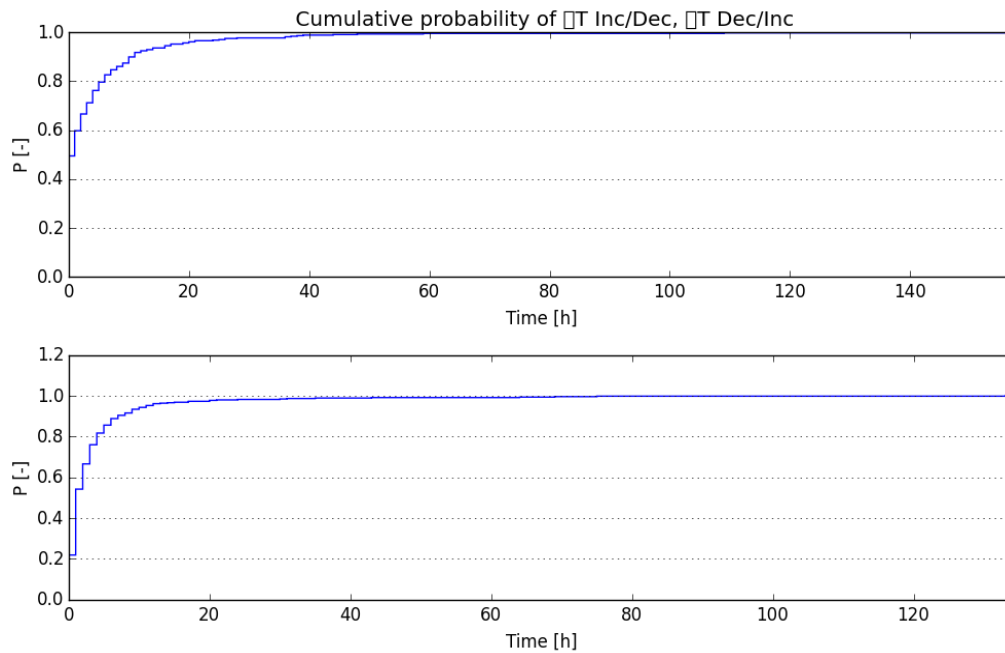


Figura A7.199 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



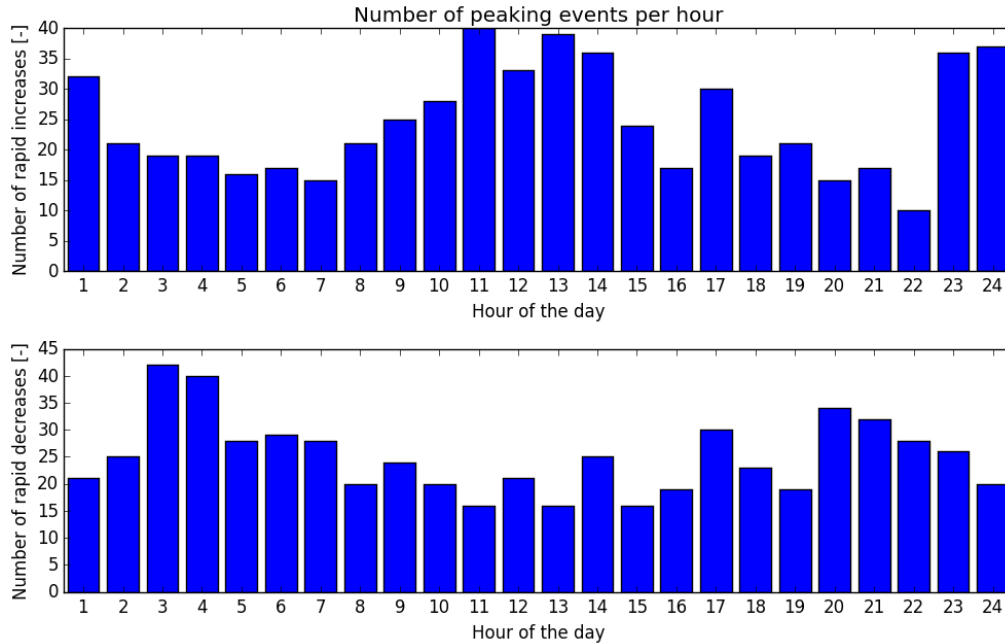


Figura A7.200 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

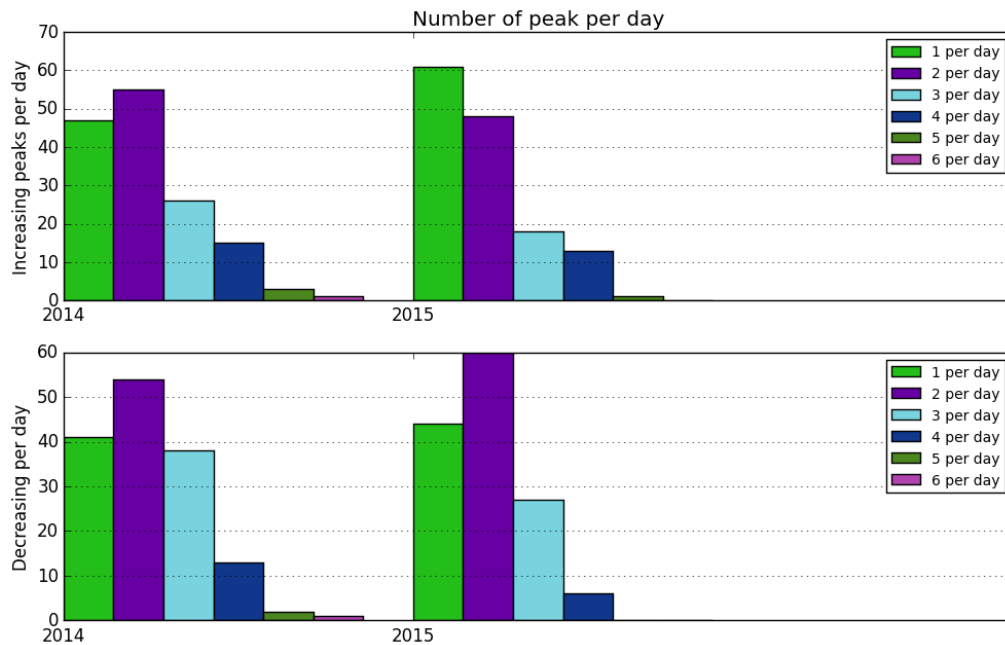


Figura A7.201 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

En esta central, los pulsos de subida ocurren entre las 9 y las 15, y también en la noche, de las 23 a la 1 de la madrugada. Típicamente hay uno o dos eventos diarios de *peaking*.

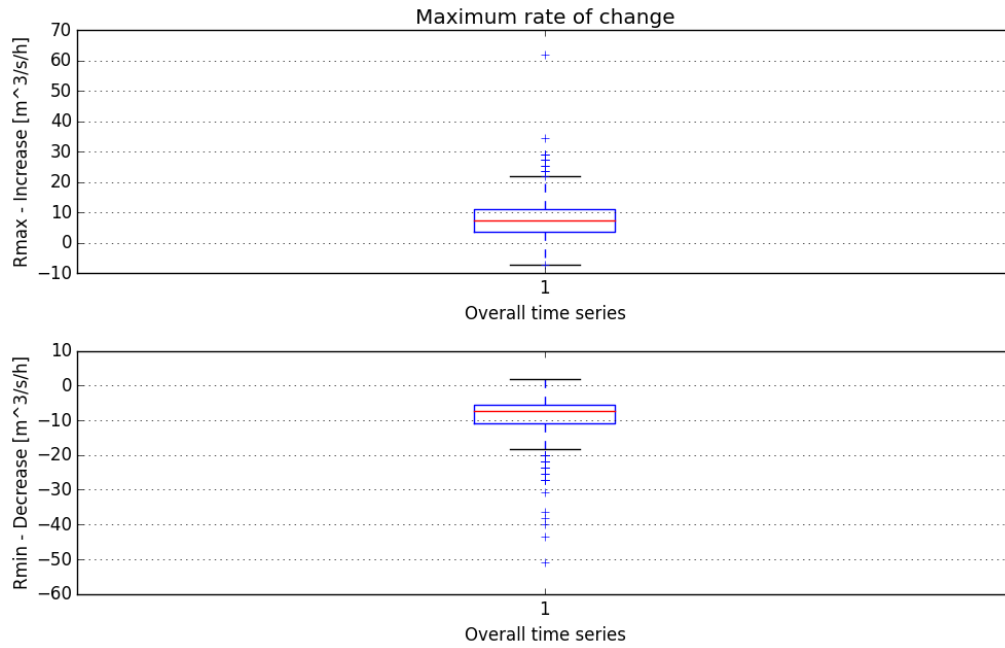


Figura A7.202 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

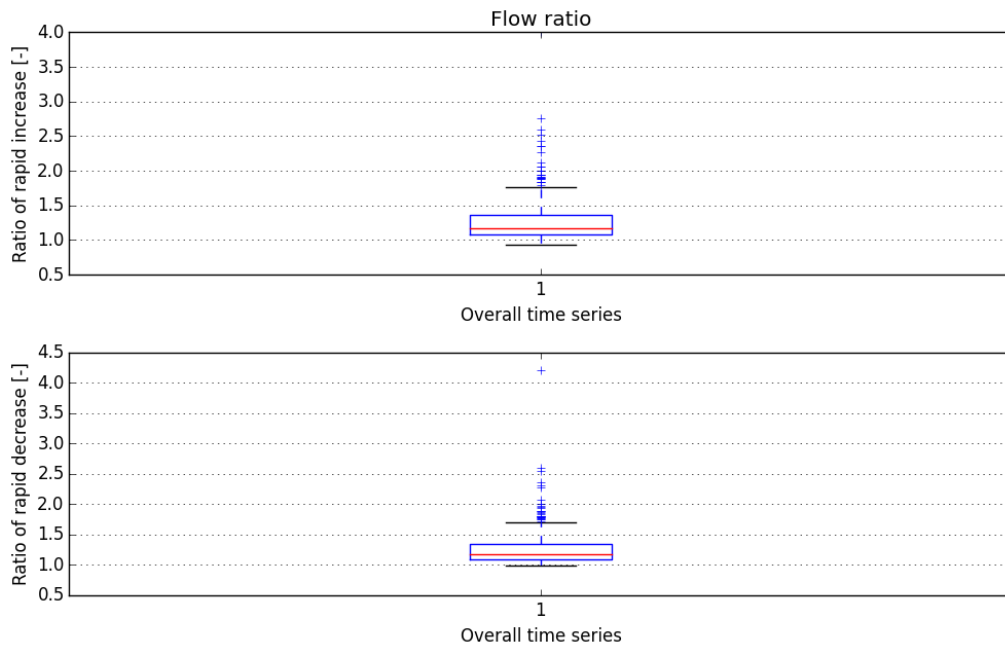


Figura A7.203 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 30

En esta serie falta un 65% de los datos. A pesar de ello, permite visualizar fuertes fluctuaciones por generación de punta, las que están en el rango de los 500 a 600 m<sup>3</sup>/s.

Se trata de una central de embalse, de aquellas que regulan la frecuencia del sistema interconectado, por lo que se ocupa casi exclusivamente para generar de punta. La estacionalidad se refleja en que en los meses con mayor disponibilidad de agua, aumenta la frecuencia de los eventos, pero éstos tienden a escasear en verano.

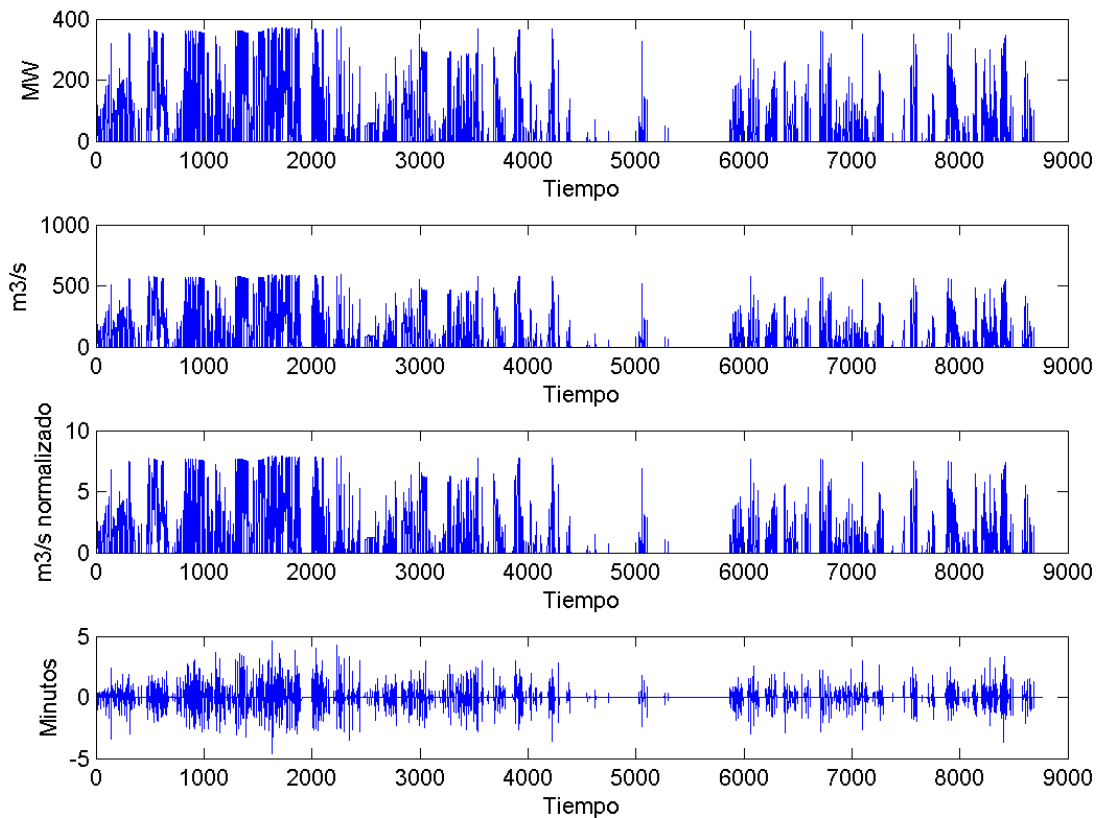


Figura A7.204 Comportamiento estimado en operación real de la Central 30

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

En cuanto a la duración de los pulsos de caudal alto, un 50% de ellos dura sólo 1 h, y el 90% está bajo las 10 horas.

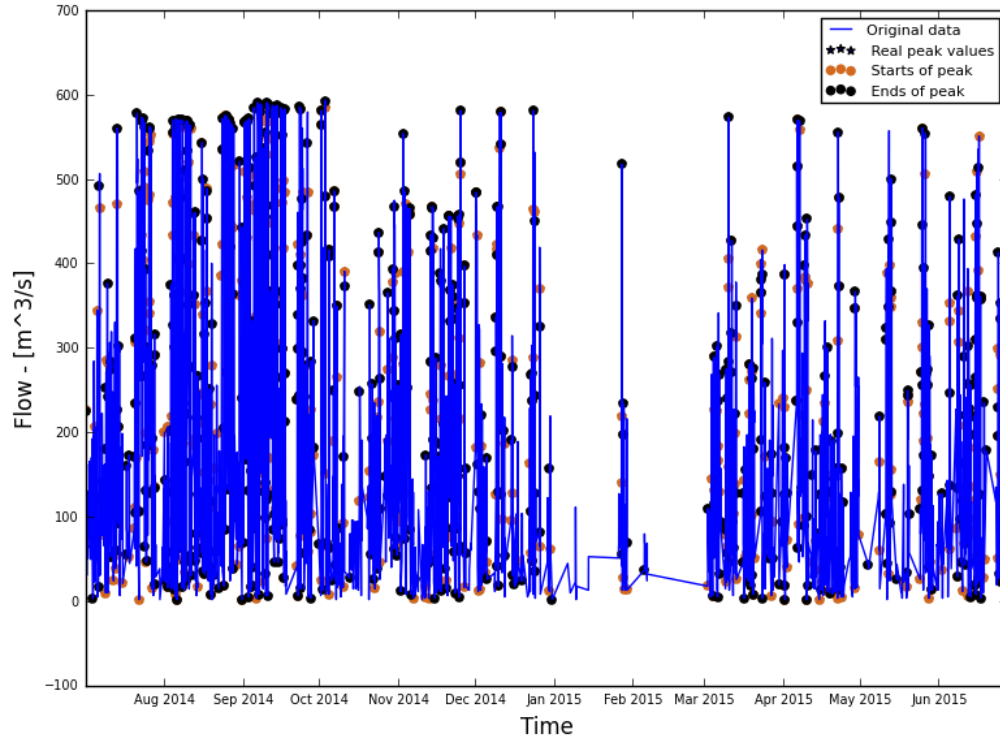


Figura A7.205 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

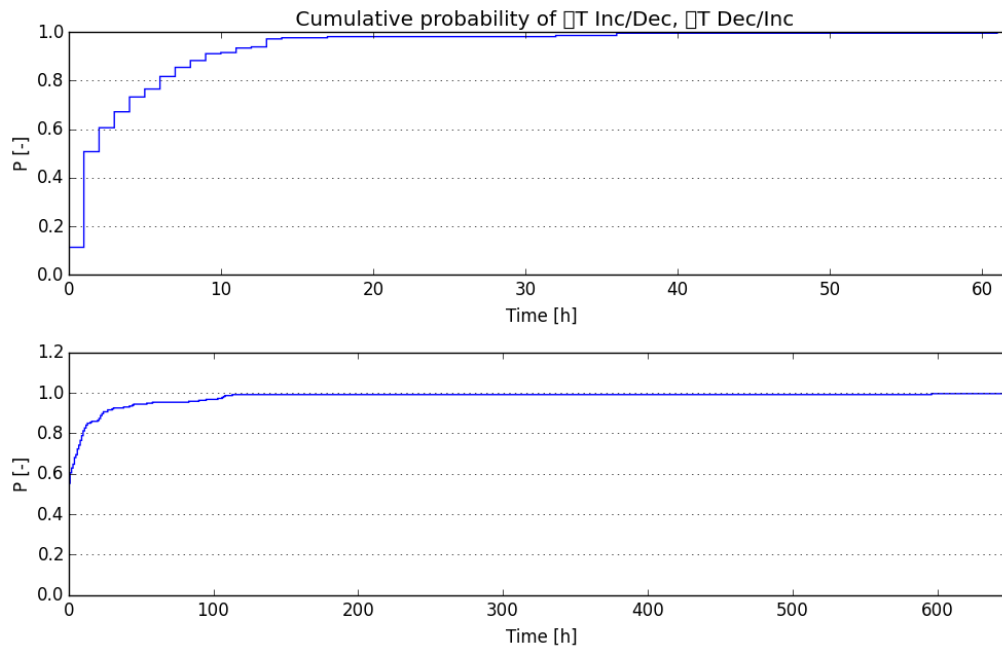


Figura A7.206 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

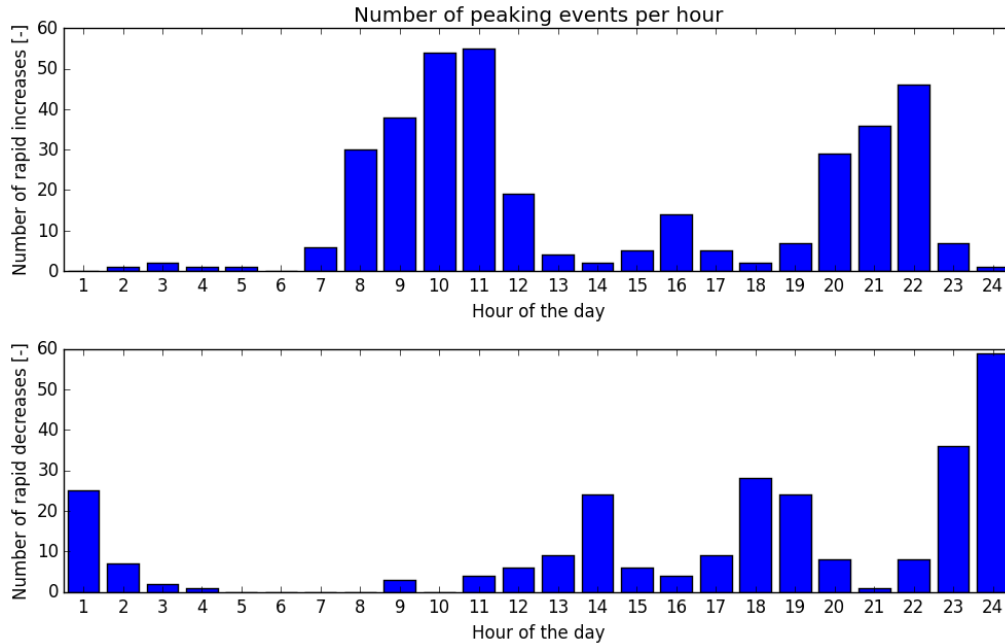


Figura A7.207 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

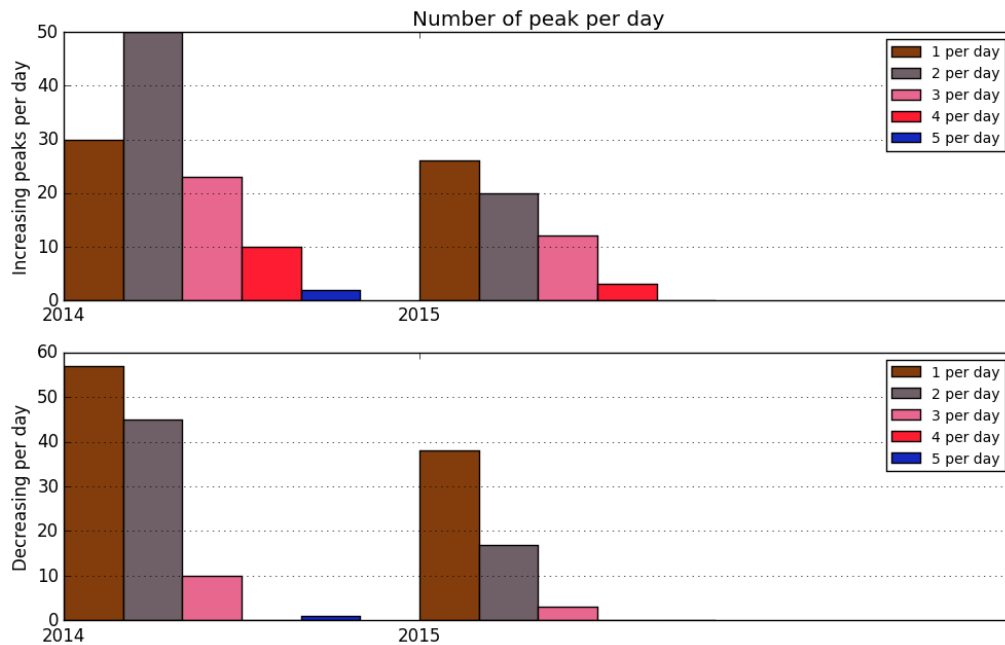


Figura A7.208 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de punta ocurren en horarios claramente definidos, en la mañana entre las 8 y las 12, y en la noche entre las 20 y las 22. Típicamente hay dos eventos diarios.

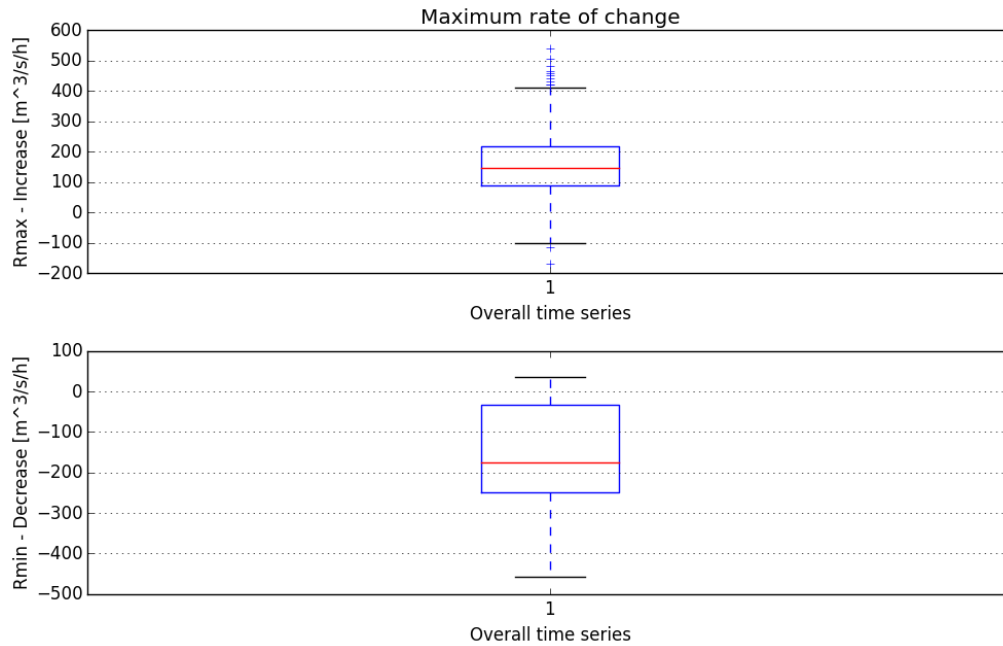


Figura A7.209 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

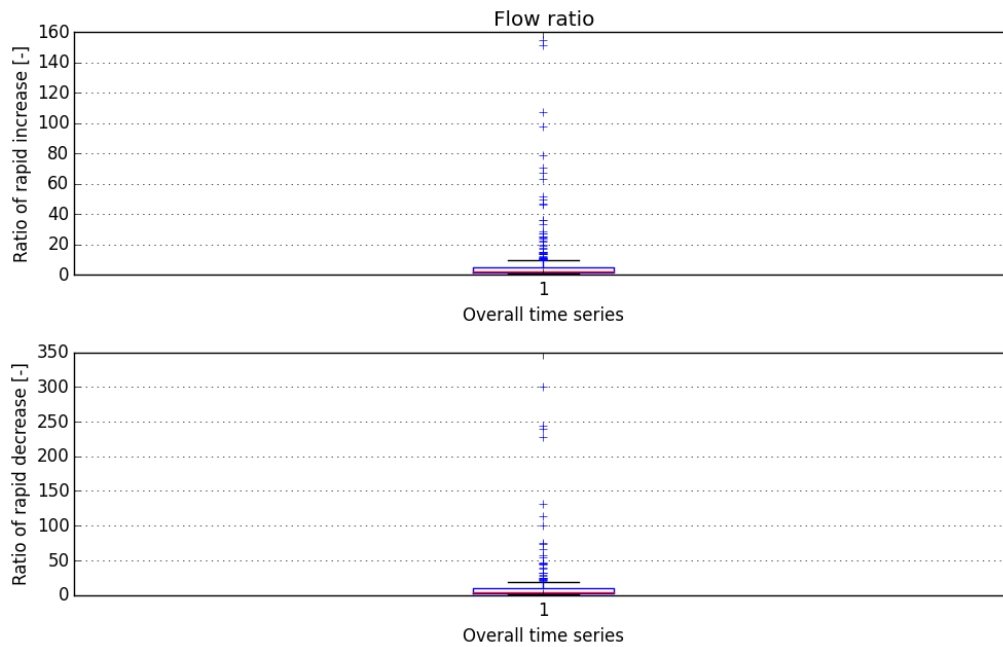


Figura A7.210 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 31

Faltan 589 datos horarios en esta serie de tiempo.

Se trata de una central de paso pequeña, sin capacidad de regulación. A pesar de ello, se evidencian fuertes fluctuaciones por generación de punta, en aquellos meses con suficiente disponibilidad de agua. Entre fines de primavera y fines de otoño, el caudal turbinado sigue el hidrograma natural imponiéndole fluctuaciones de alta frecuencia pero magnitud baja.

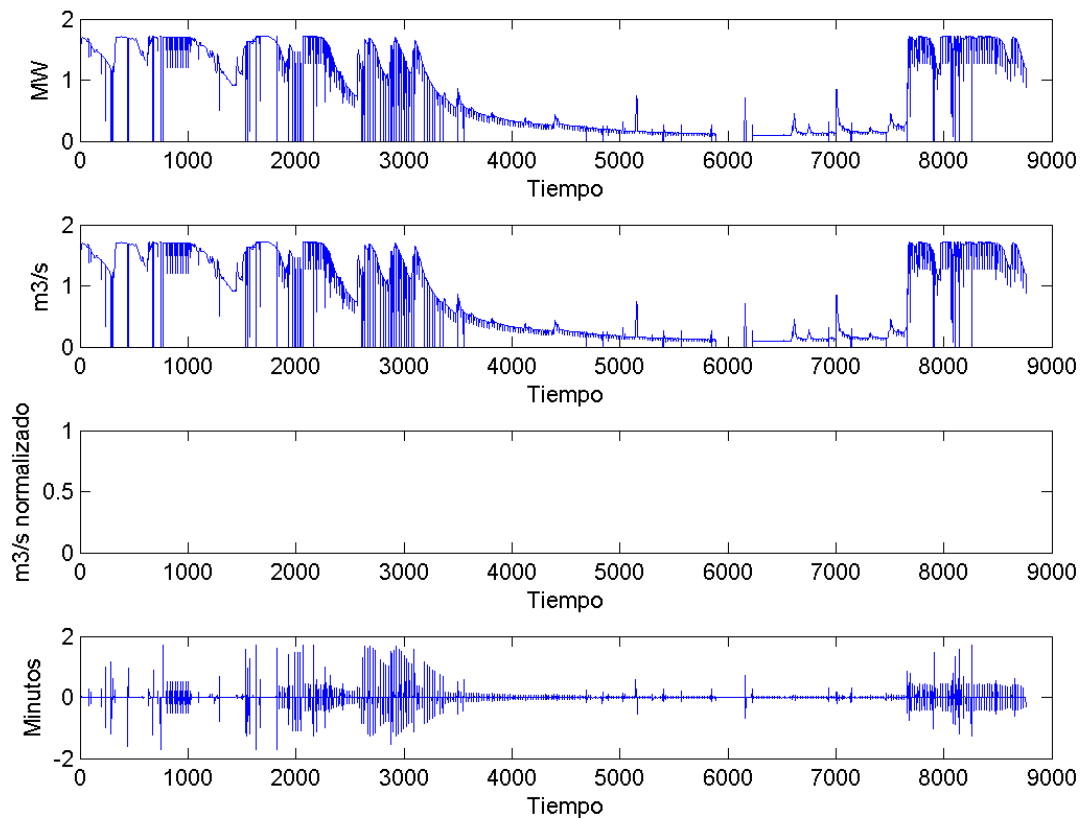


Figura A7.211 Comportamiento estimado en operación real de la Central 31

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

La frecuencia de los pulsos es muy alta, y su duración muy corta. Los eventos de caudal alto son básicamente todos instantáneos, así como la mayoría de los de caudal bajo.

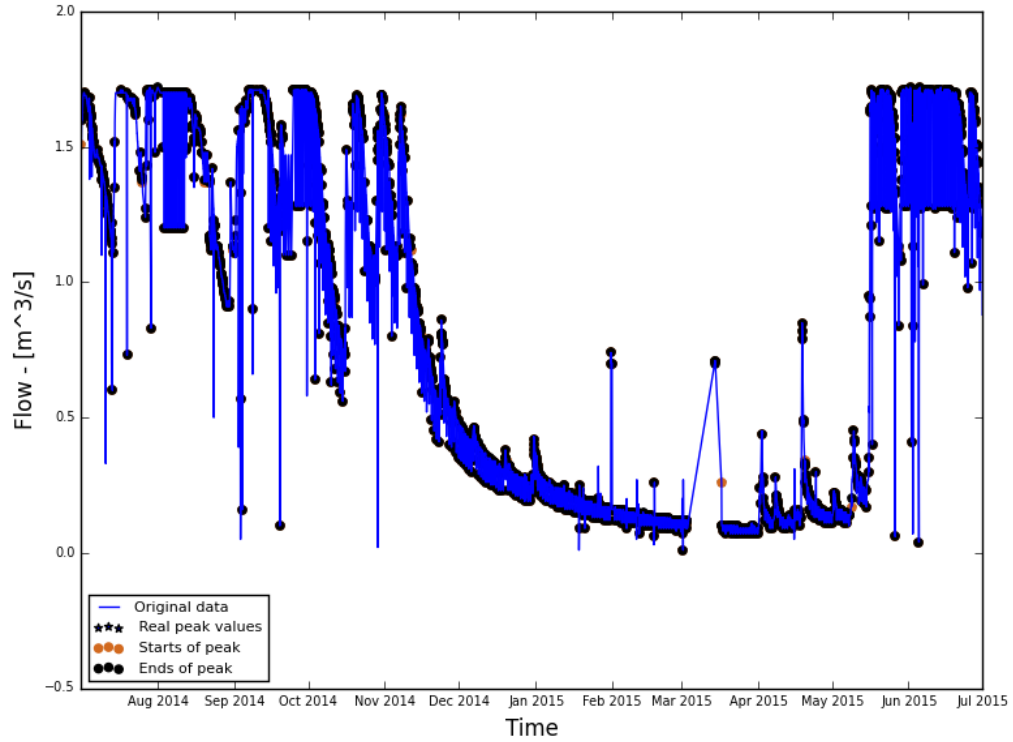


Figura A7.212 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

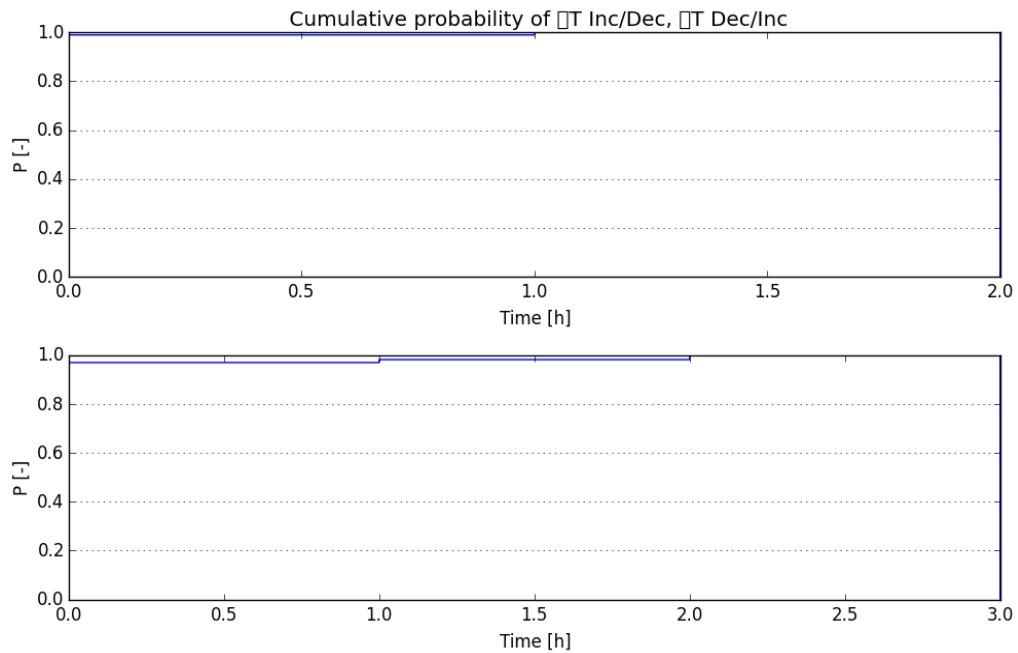


Figura A7.213 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



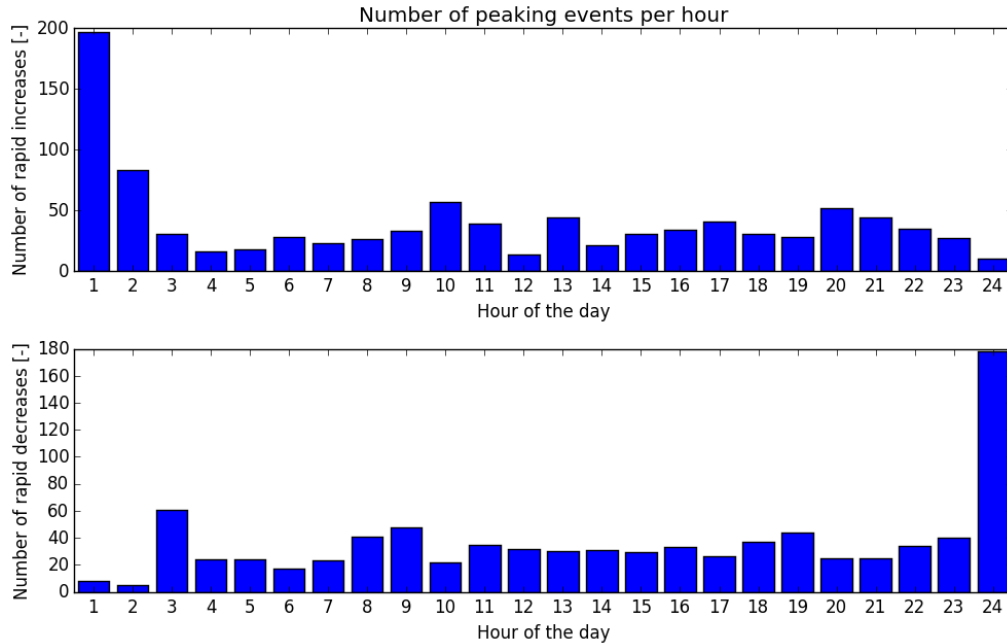


Figura A7.214 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

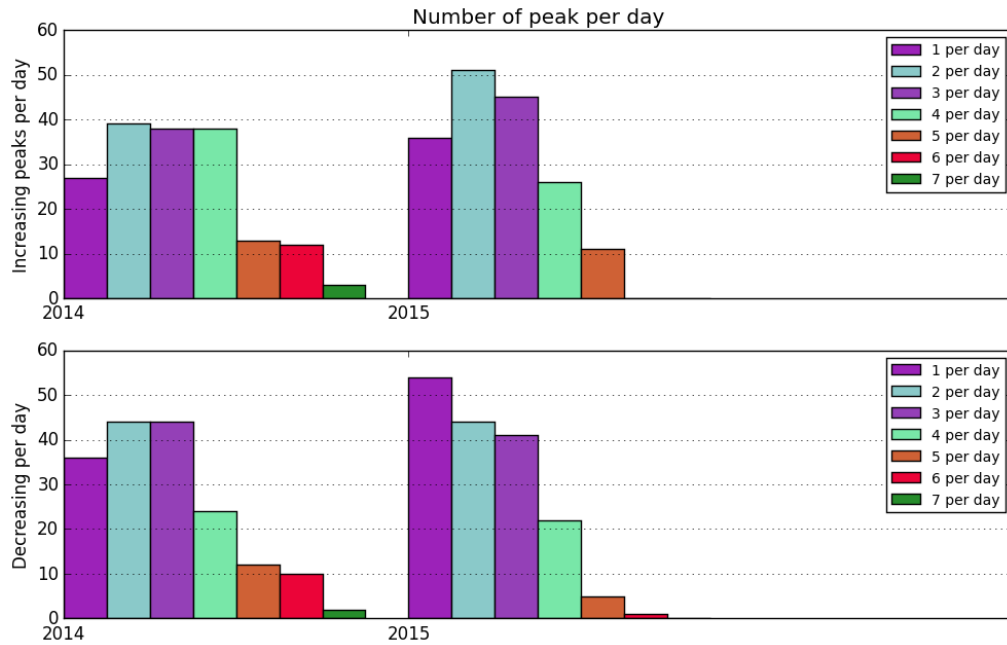


Figura A7.215 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos ocurren en cualquier momento del día, aunque hay una probabilidad mayor entre la 1 y las 2 de la mañana. La frecuencia típica es de 2, 3 o 4 eventos diarios.

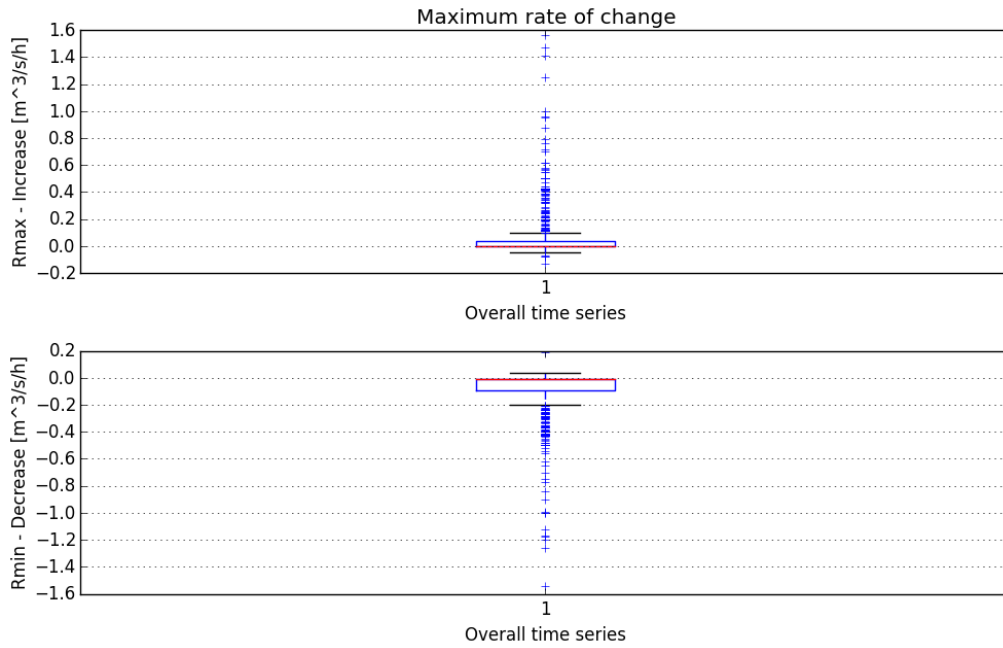


Figura A7.216 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

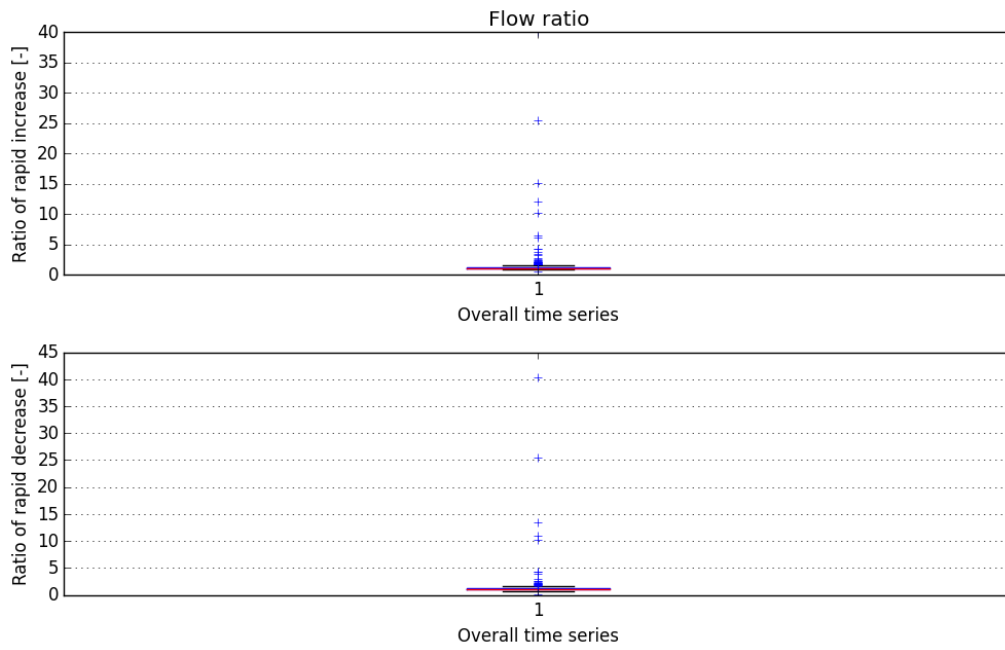


Figura A7.217 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 32

Esta corresponde a una central de pasada que genera aguas de un canal de riego, retornándolas a un río. Faltan 502 datos en la serie.

Se observa evidencia de *hydropeaking* a lo largo de todo el año, con matices estacionales: En verano y otoño las fluctuaciones son de menor magnitud y frecuencia.

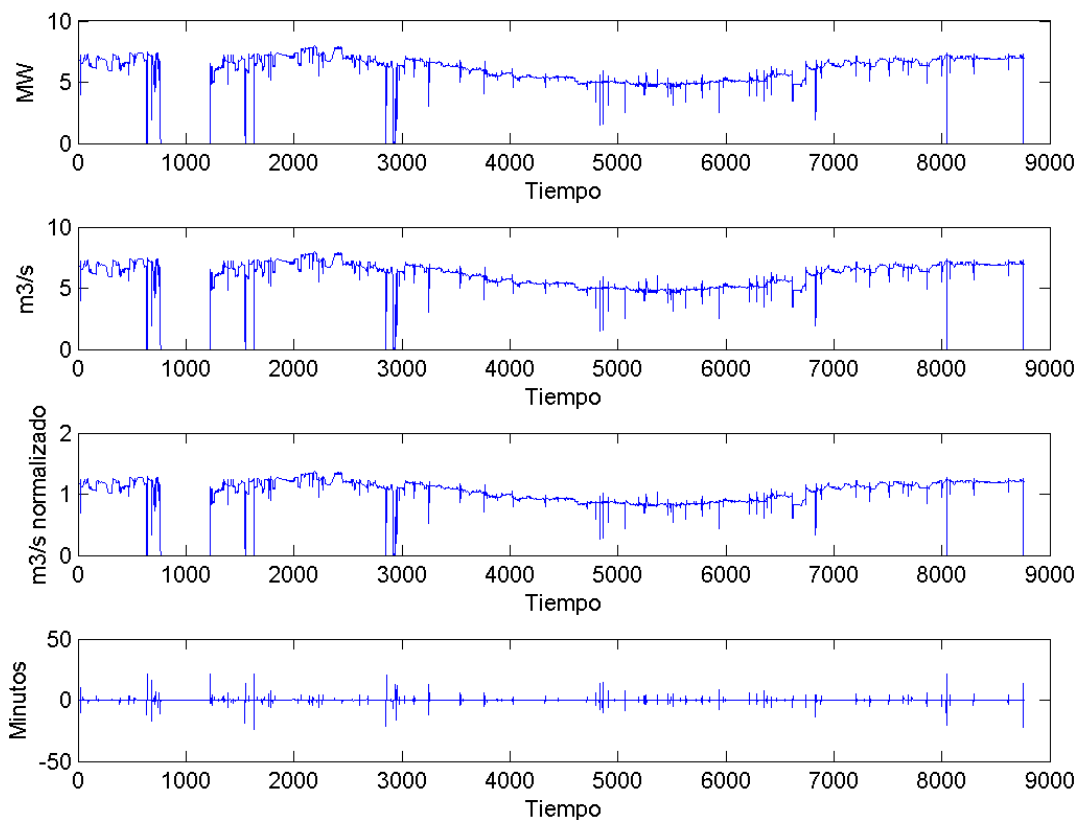


Figura A7.218 Comportamiento estimado en operación real de la Central 32

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

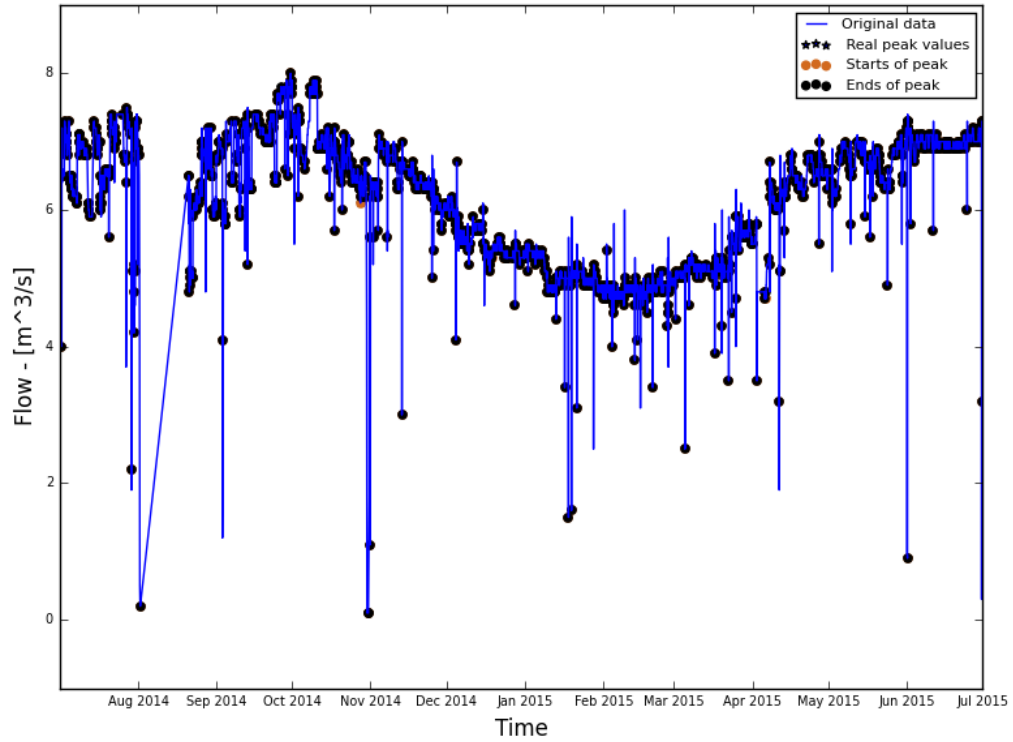


Figura A7.219 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

NO ARROJA GRAFICO COSH

Figura A7.220 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

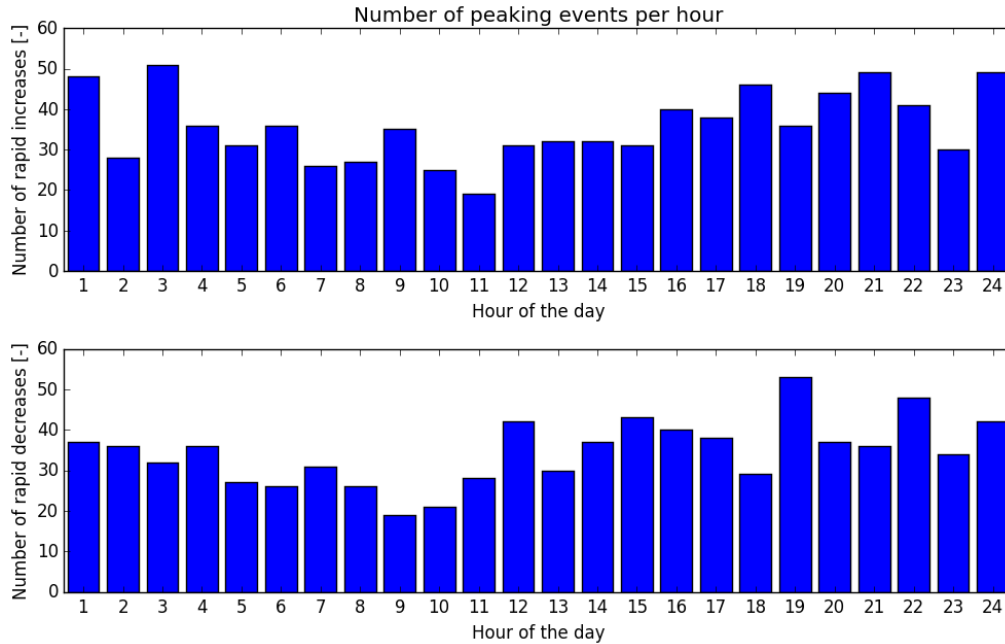


Figura A7.221 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

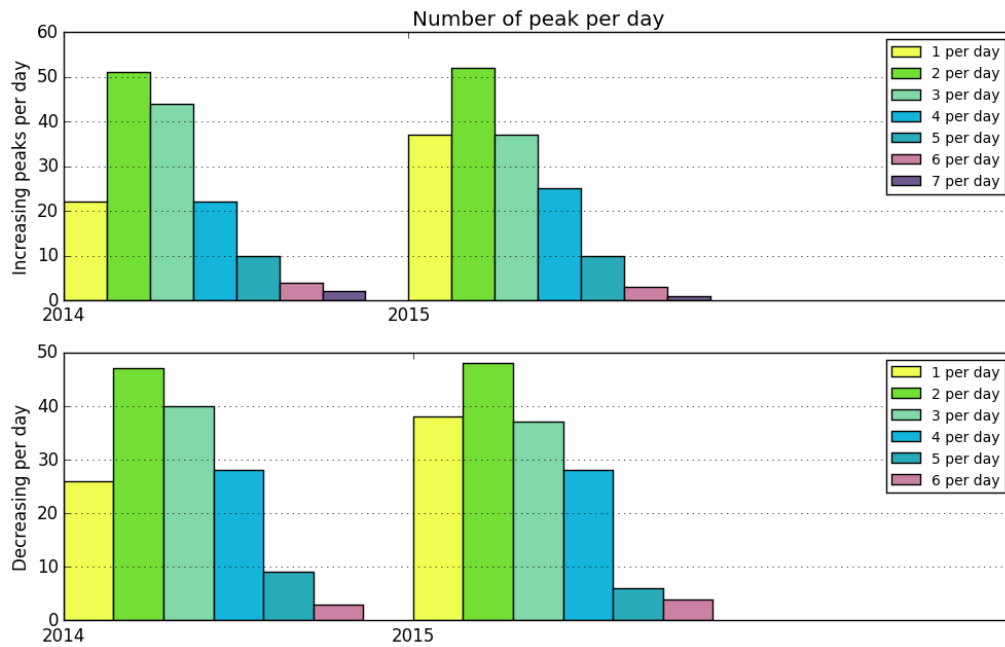


Figura A7.222 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos pueden ocurrir en cualquier momento del día, y típicamente hay dos o tres por día.

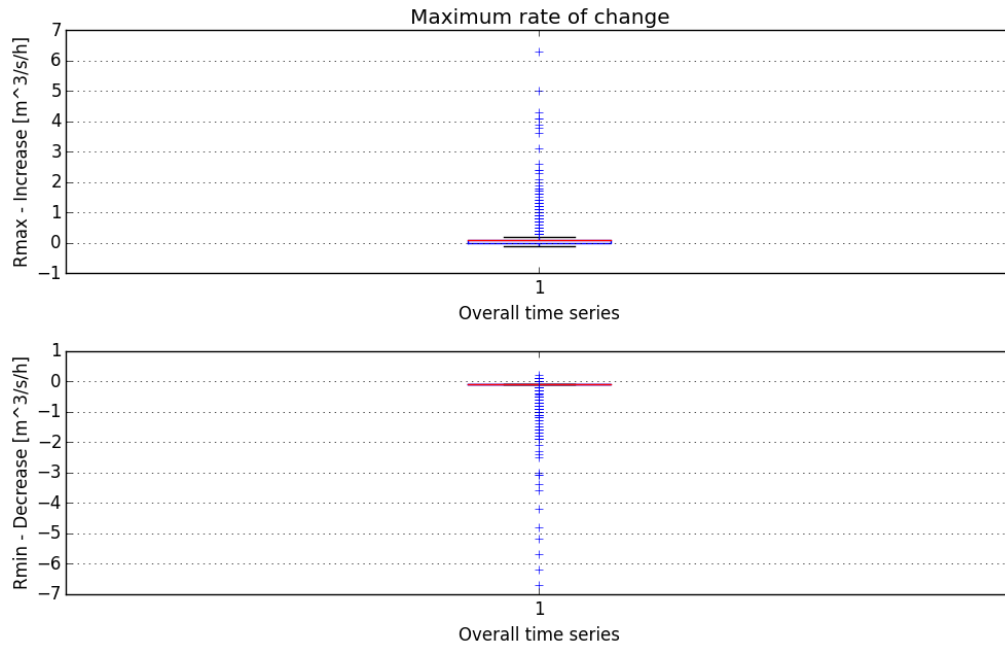


Figura A7.223 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

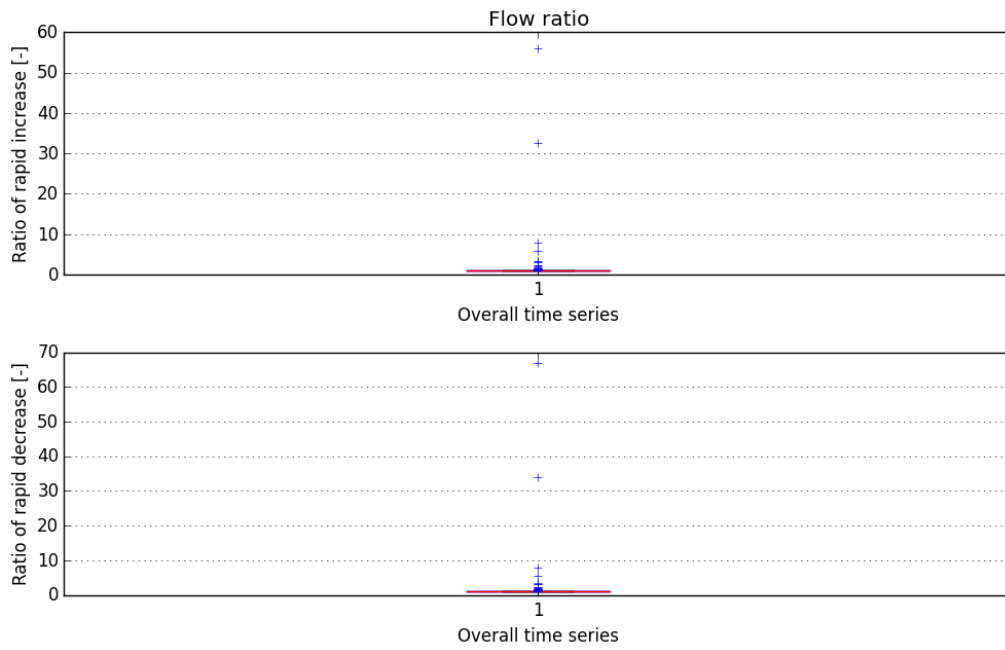


Figura A7.224 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 33

En este caso falta un 20% de los datos horarios.

Se trata de una central de pasada pequeña, sin capacidad de regulación, a pesar de lo cual evidencia generación de punta durante los meses de verano y otoño, con fluctuaciones de caudal de alta frecuencia pero baja magnitud.

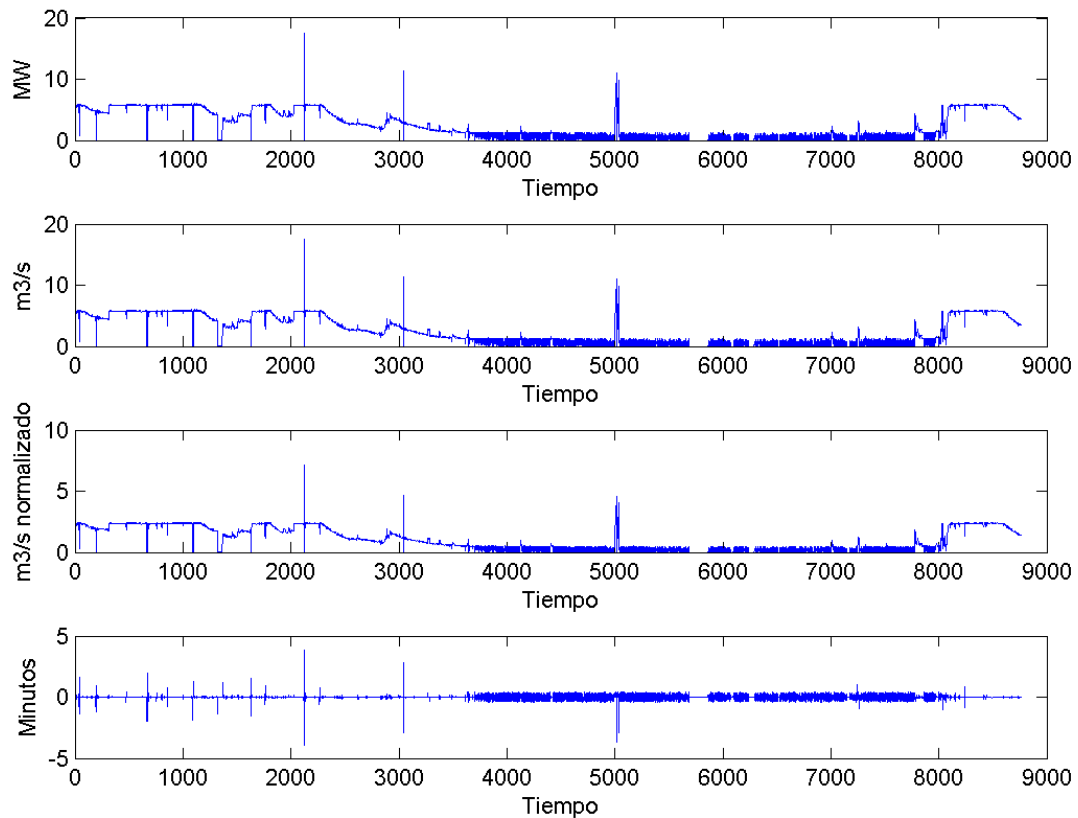


Figura A7.225 Comportamiento estimado en operación real de la Central 33  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El 90% de los eventos, tanto de caudales altos como bajos, duran menos de 6 a 7 horas, y una proporción muy alta de los picos y de los valles es instantánea (70% de los picos y 85% de los valles).

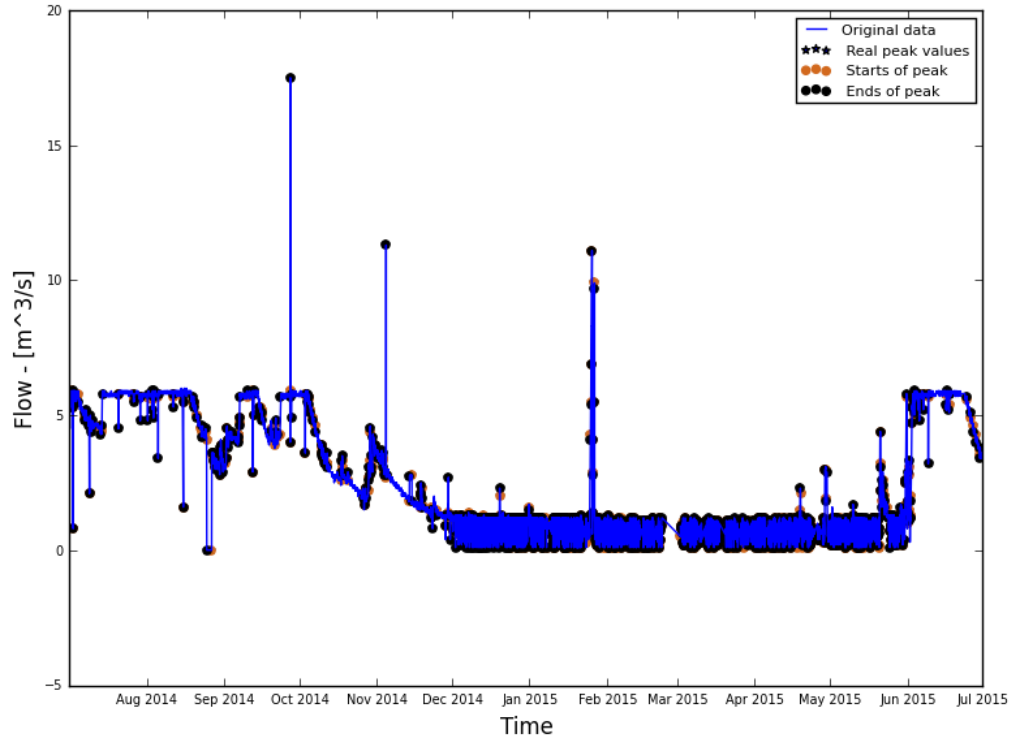


Figura A7.226 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

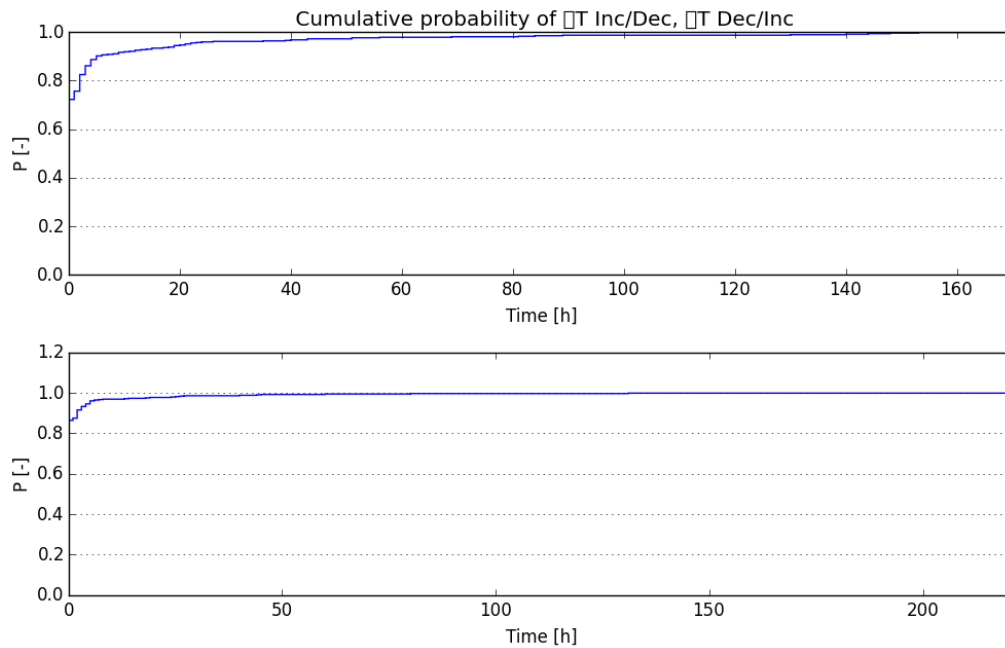


Figura A7.227 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



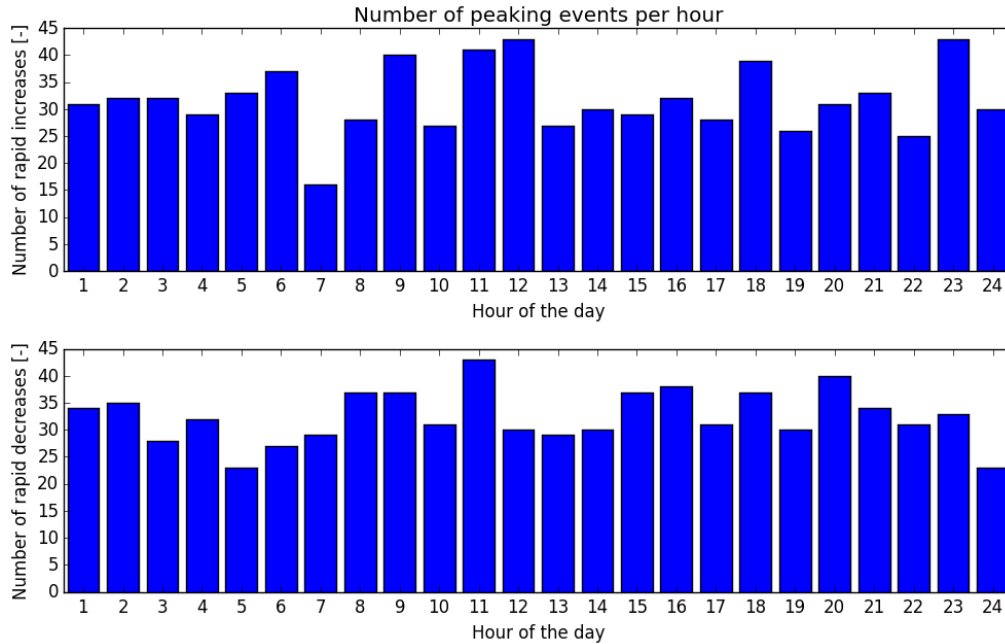


Figura A7.228 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

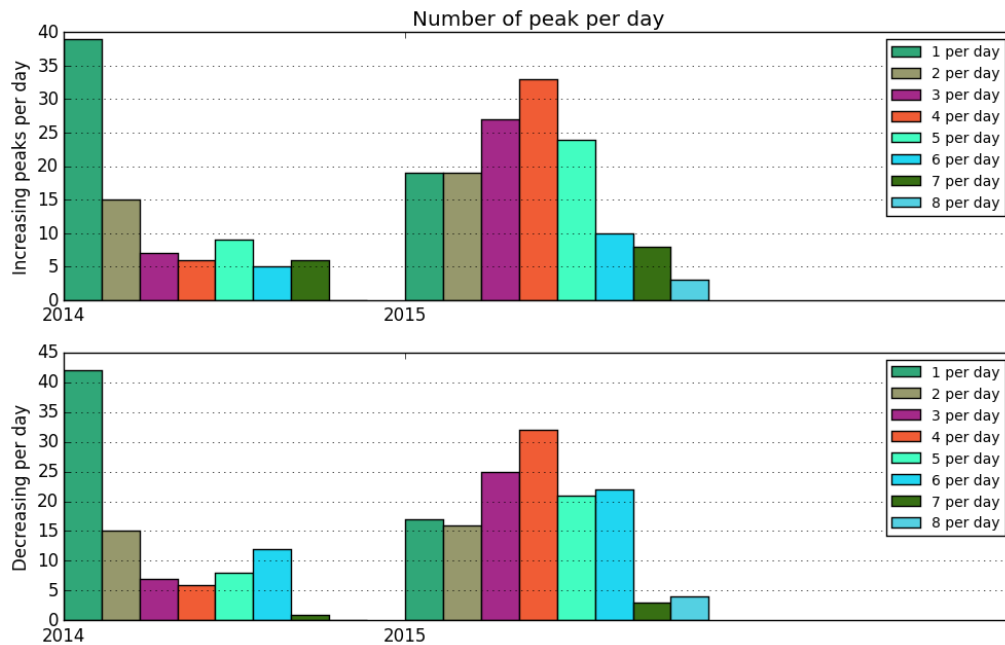


Figura A7.229 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos ocurren en todos los momentos del día, y la frecuencia es muy alta, con dos modas: un evento diario, o bien tres o cuatro eventos diarios.

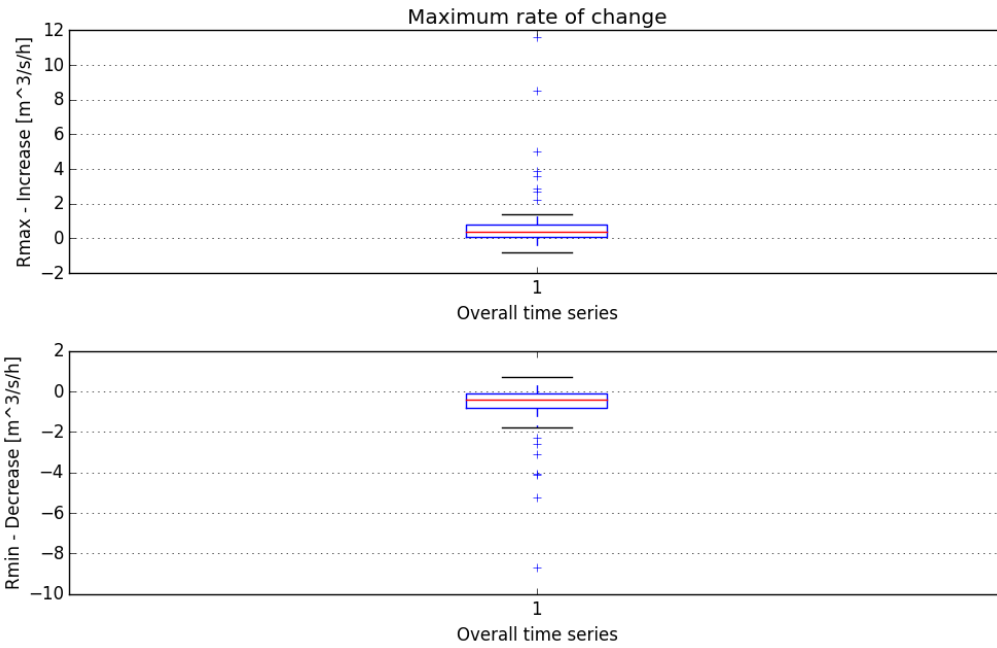


Figura A7.230 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

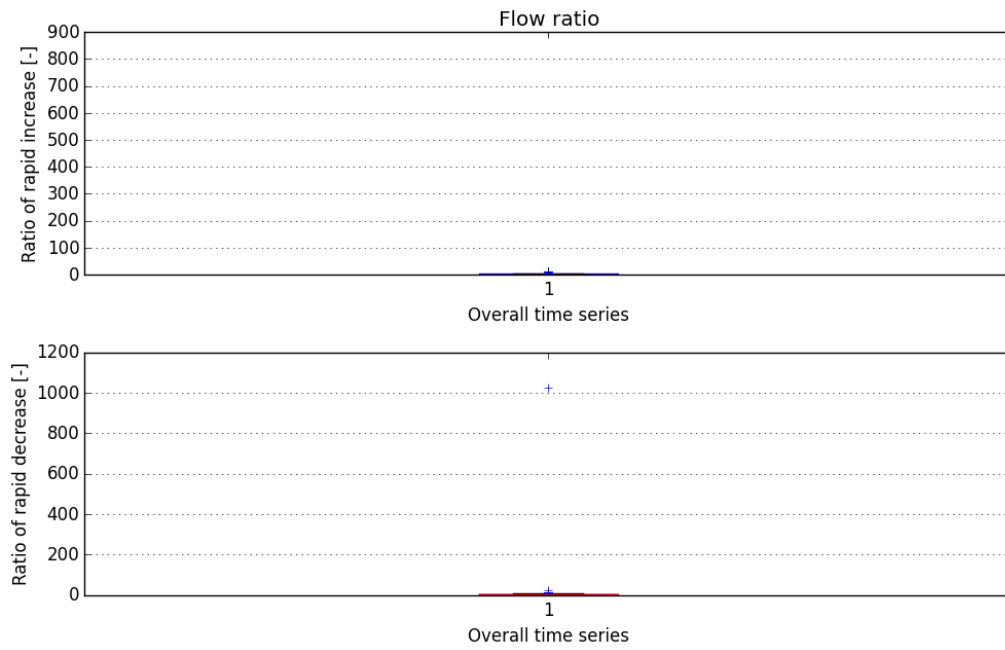


Figura A7.231 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 34

A pesar de tratarse de una central de paso que utiliza aguas de un canal de riego para restituirlas a un río, queda en evidencia la ocurrencia de generación de punta. En este caso se observa una envolvente superior de los caudales, relacionada probablemente con la disponibilidad del recurso hídrico en el canal en distintos momentos del año, ocurriendo fuertes eventos, con altas magnitudes relativas. Falta un 18% de los datos.

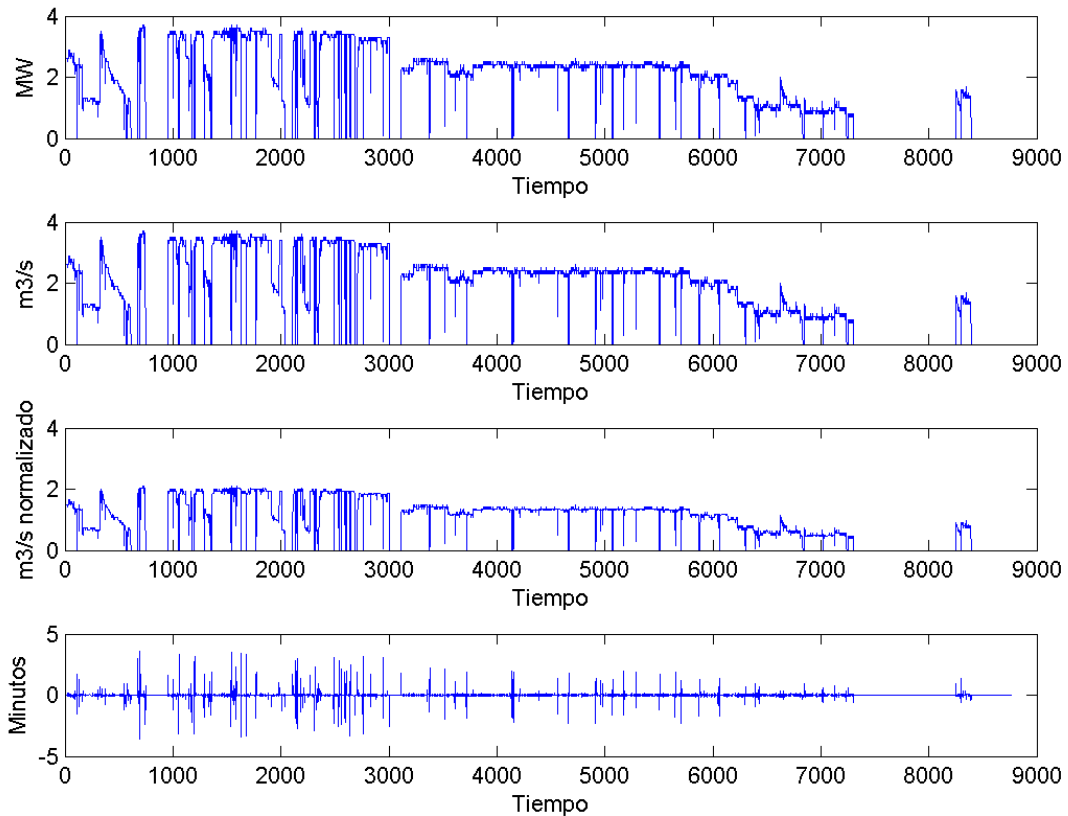


Figura A7.232 Comportamiento estimado en operación real de la Central 34

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El 50% de los eventos de caudal alto dura 2 horas o menos, pero también hay eventos de larga duración (el percentil 90% es del orden de 25 a 30 h).

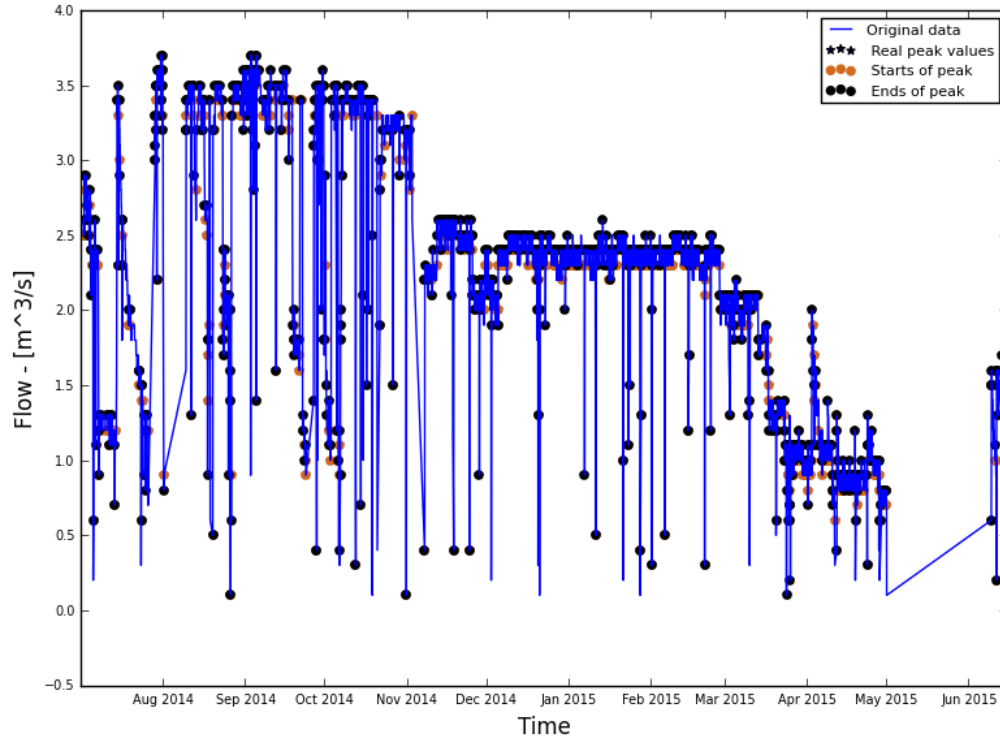


Figura A7.233 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

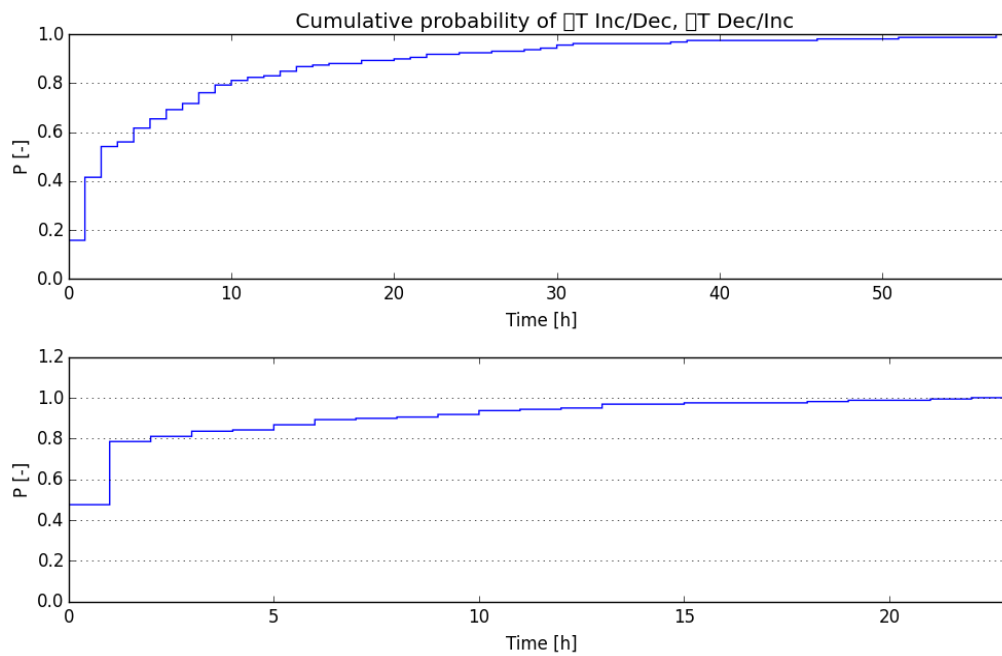


Figura A7.234 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

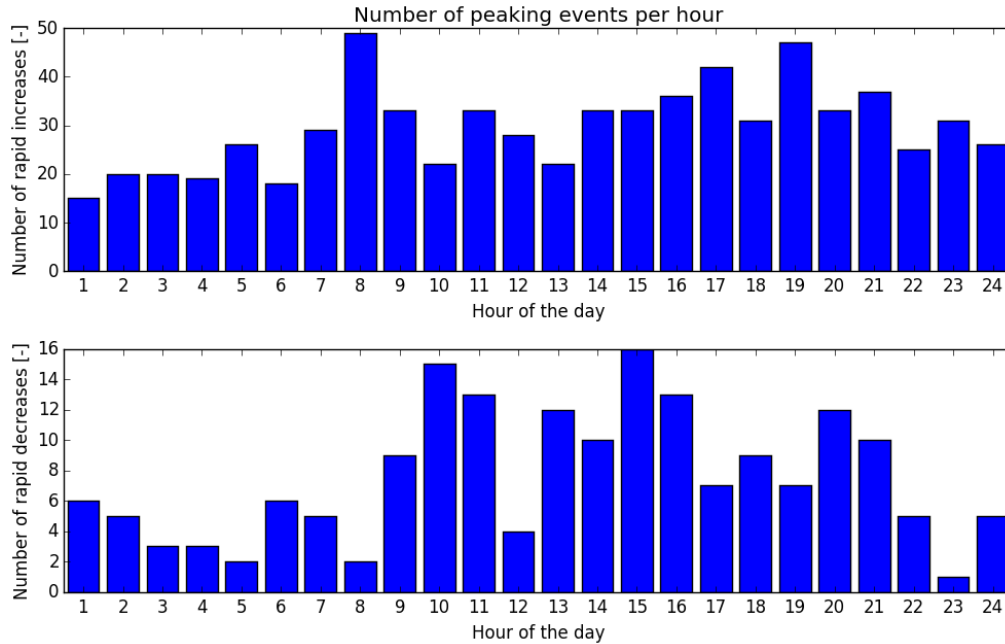


Figura A7.235 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

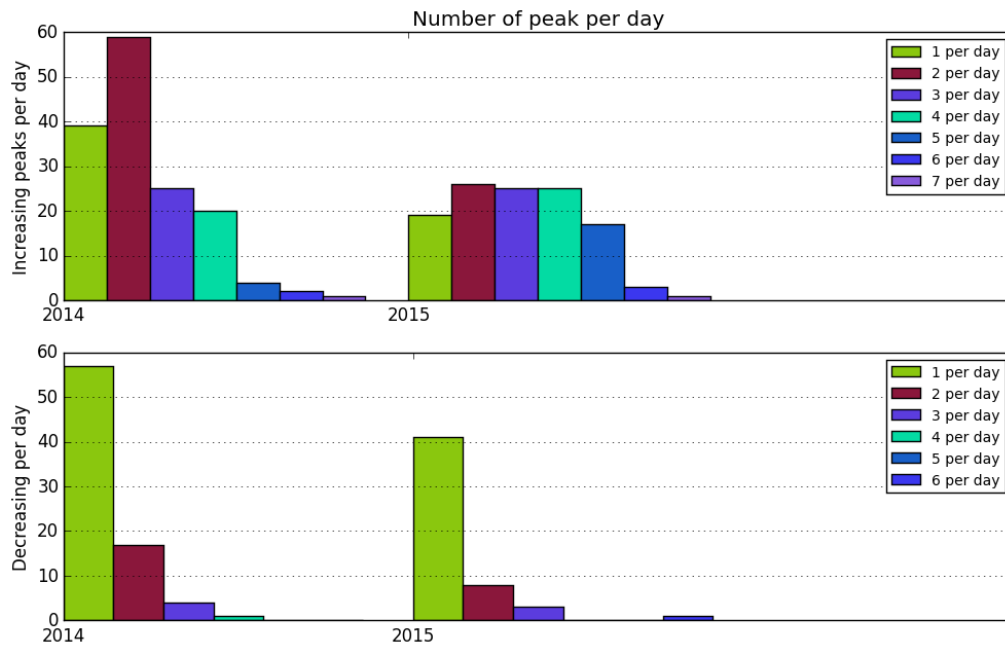


Figura A7.236 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos ocurren en cualquier momento del día, y la frecuencia típica es de uno o dos eventos diarios.

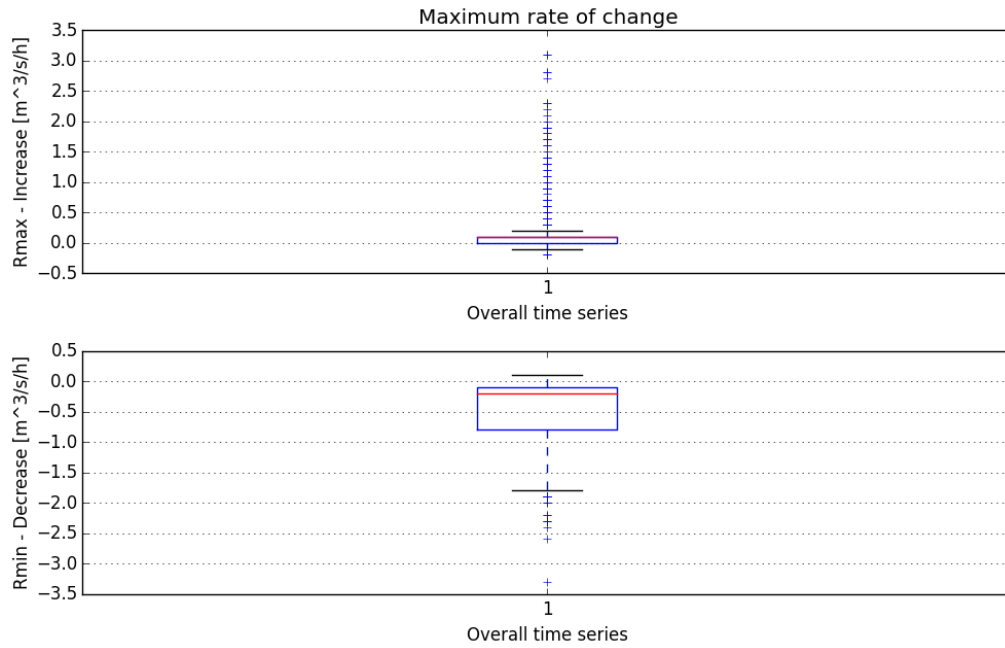


Figura A7.237 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

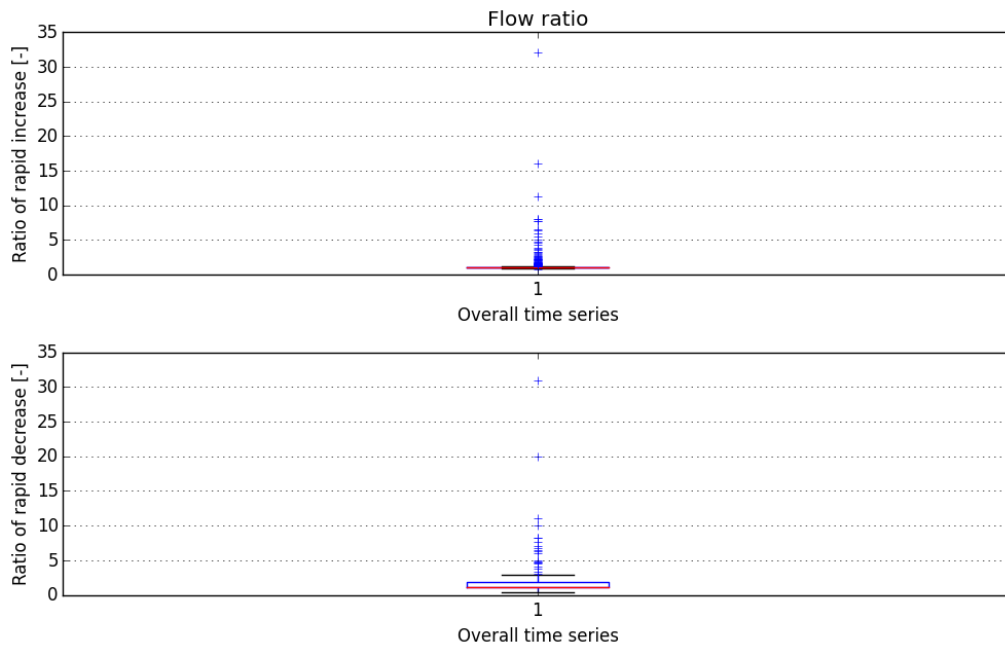


Figura A7.238 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 35

Esta central se ubica en serie, en el mismo río aguas abajo de la Central 24. Si bien tiene su propia capacidad de regulación, tiene un hidrograma muy similar. Faltan 1267 datos, poco menos de un 15% del total.

Todo lo indicado para la Central 24 aplica en este caso también.

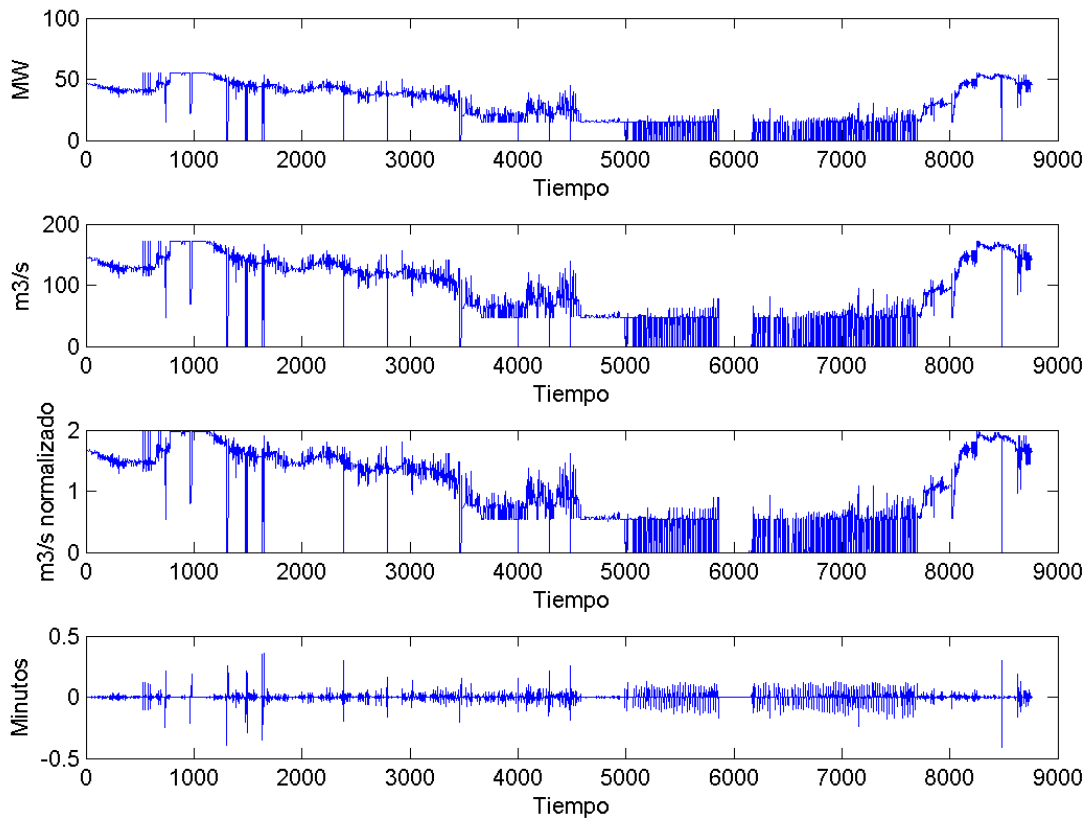


Figura A7.239 Comportamiento estimado en operación real de la Central 35

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

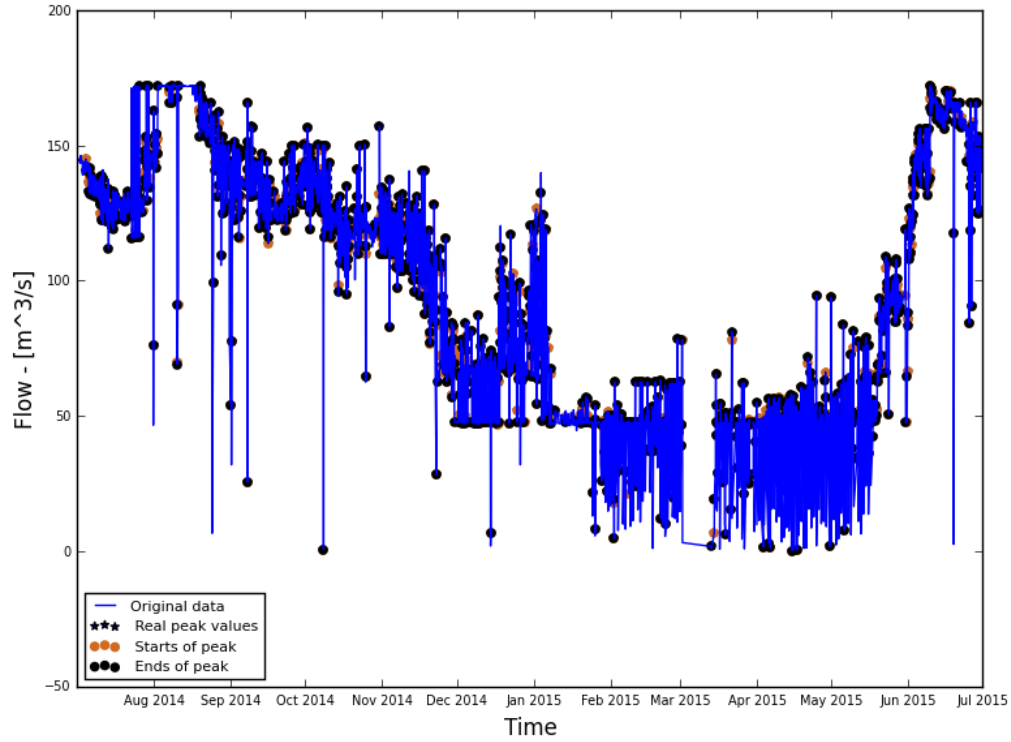


Figura A7.240 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

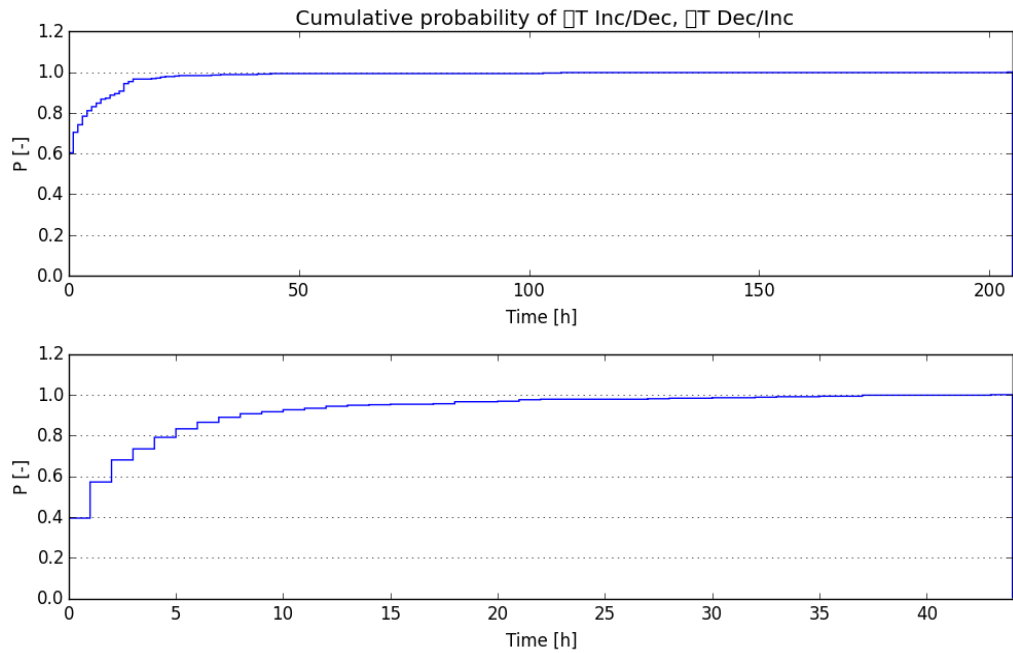


Figura A7.241 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



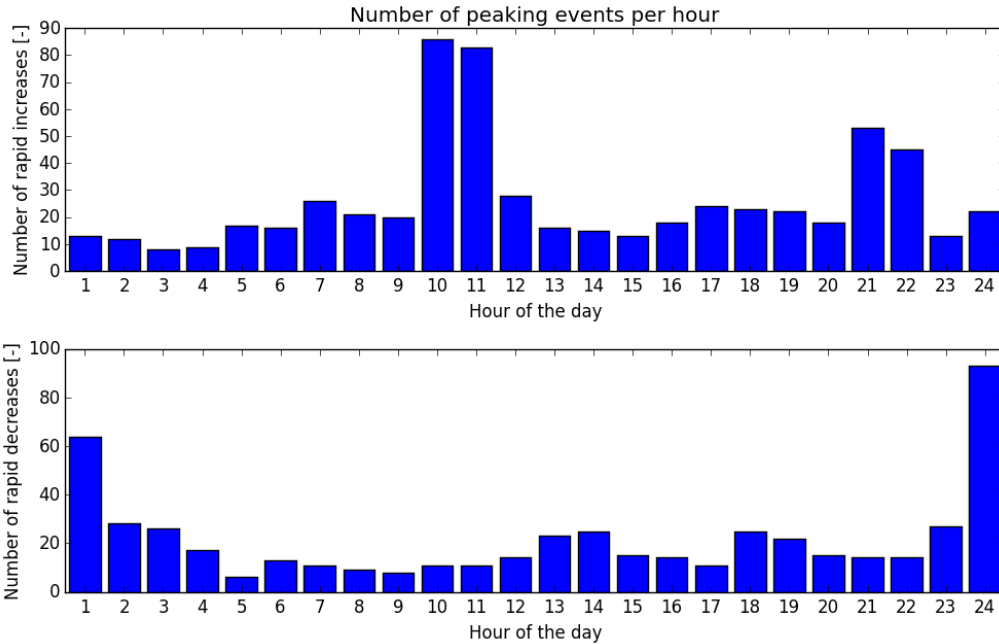


Figura A7.242 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

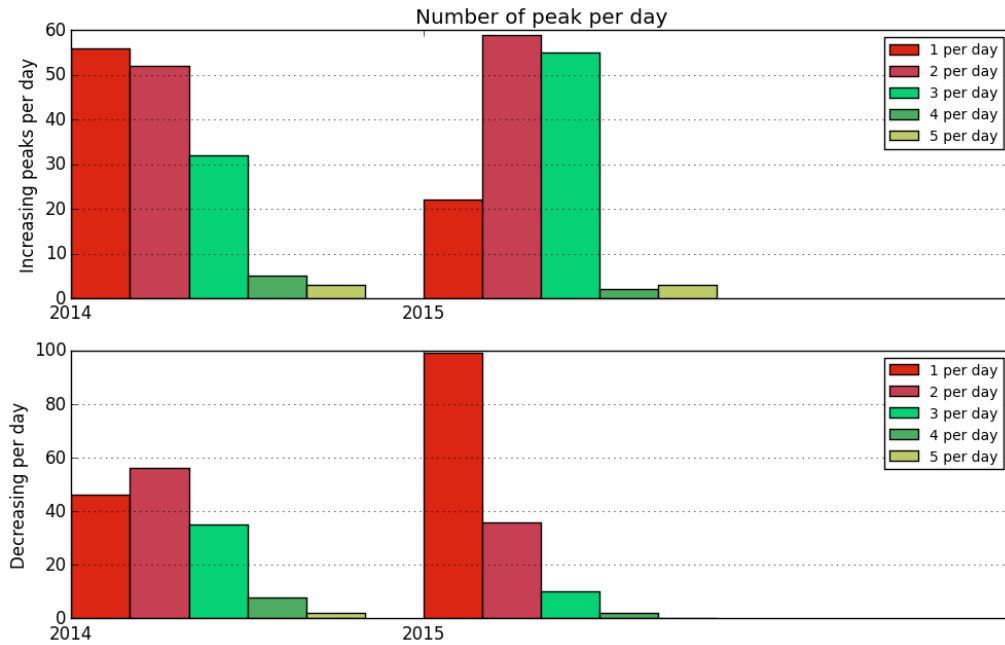


Figura A7.243 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida ocurren de preferencia en la media mañana (10 y 11) o en la noche (21 y 22). La frecuencia típica es de 1, 2 o 3 eventos diarios.

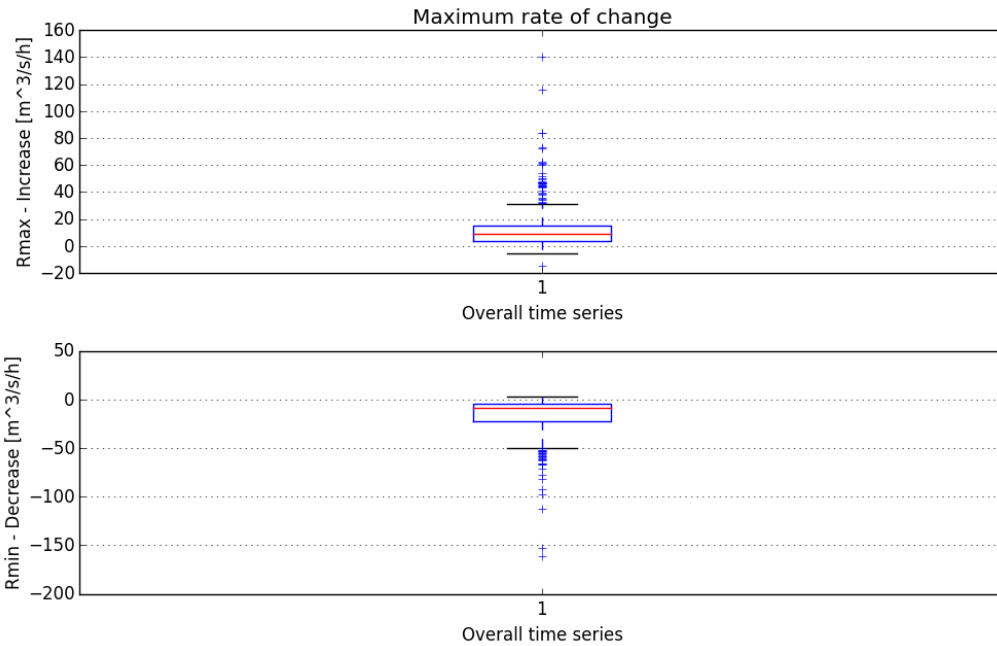


Figura A7.244 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

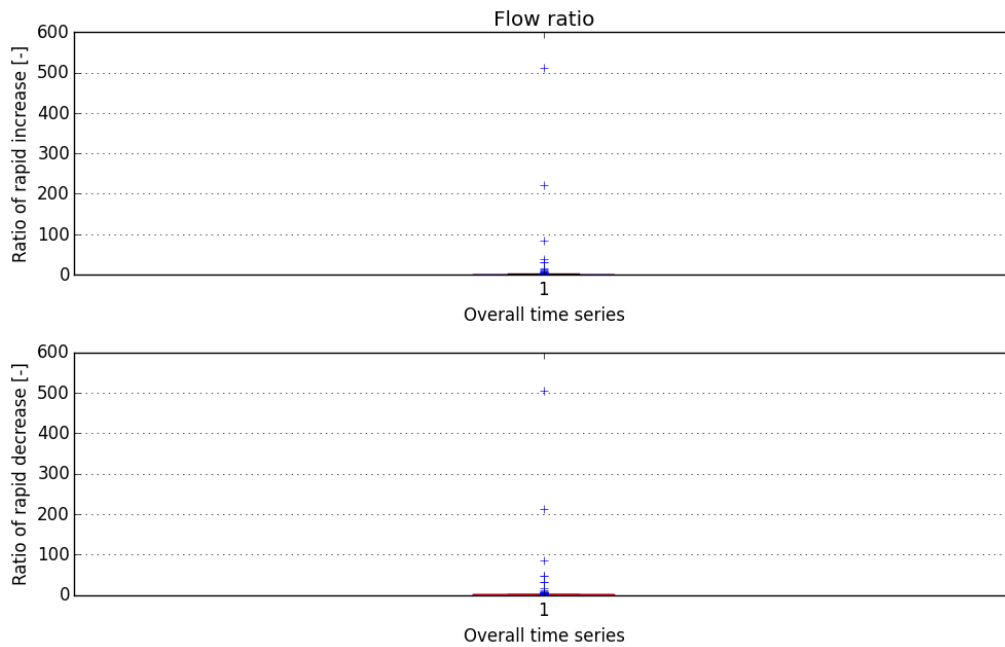


Figura A7.245 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 36

Corresponde a una central de pasada de tamaño intermedio. Si bien CDEC-SIC indica que no tiene capacidad de regulación, en la vista por Google Earth se aprecia un estanque de regulación con una superficie de 1 a 2 hectáreas. Esto sin dudas es lo que le permite introducir fluctuaciones de la magnitud relativa mostrada en las figuras. El único efecto de la estacionalidad en este caso tiene que ver con la disponibilidad de caudales por derretimiento nival y glacial, en la época estival.

En este caso falta un 36% de los datos.

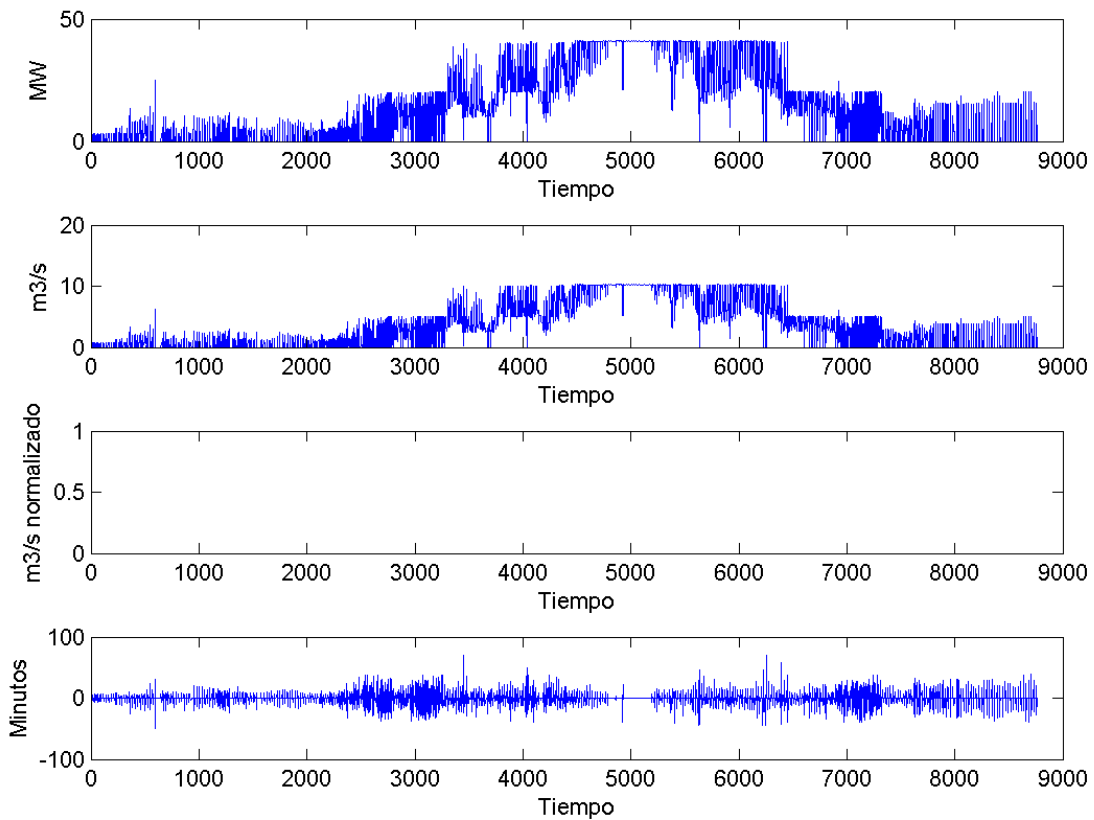


Figura A7.246 Comportamiento estimado en operación real de la Central 36  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

Entre un 40 y un 45% de los eventos de caudal alto y también bajo tienen duración instantánea, pero hay también eventos largos.

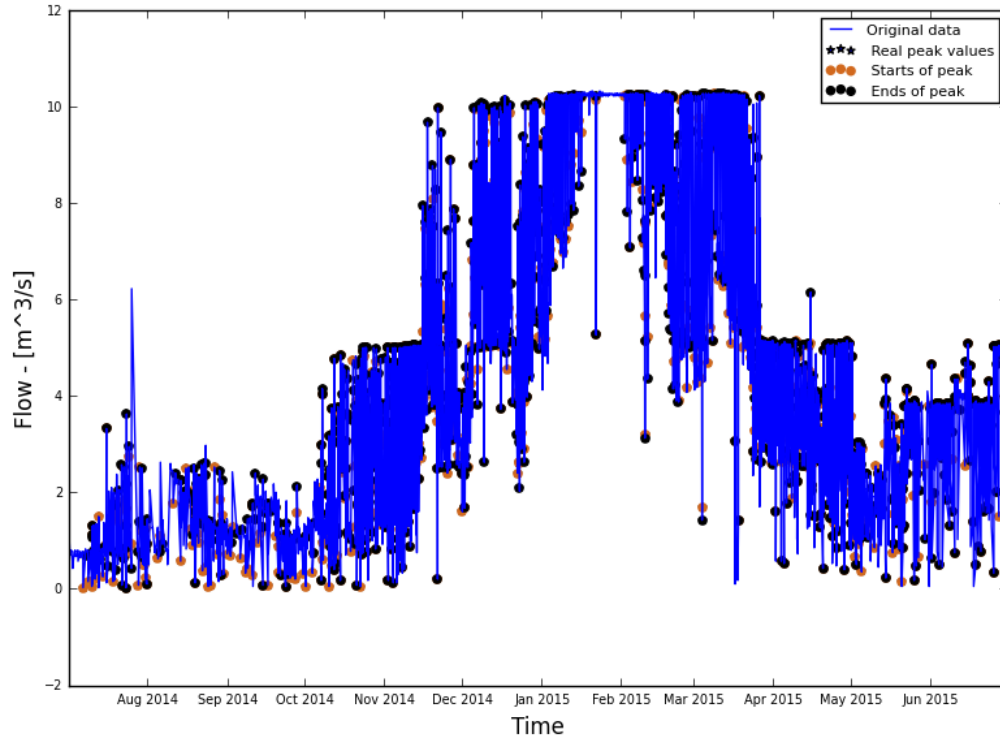


Figura A7.247 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

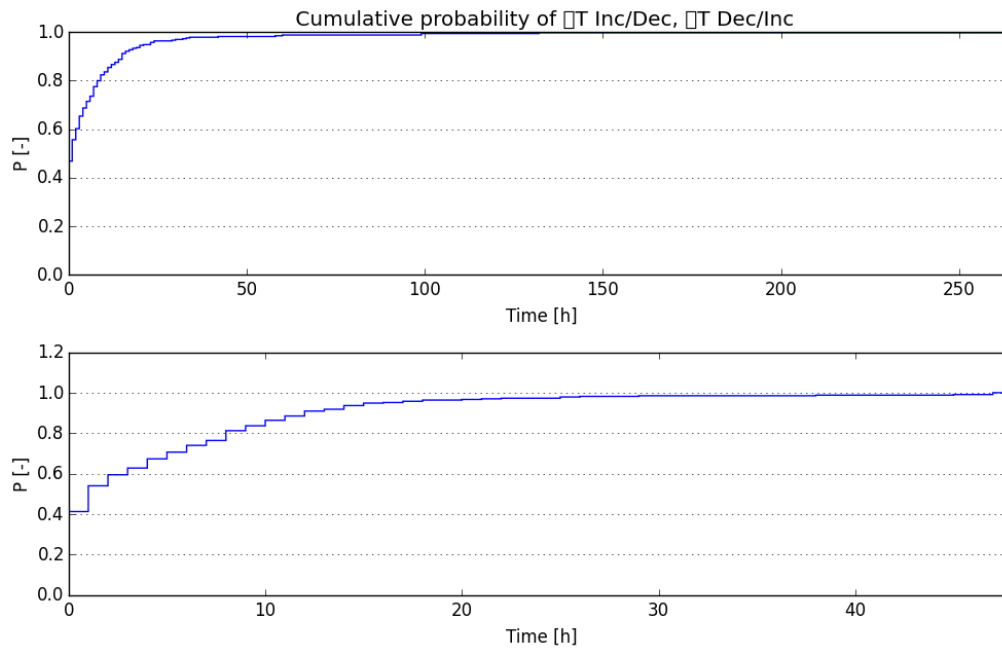


Figura A7.248 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

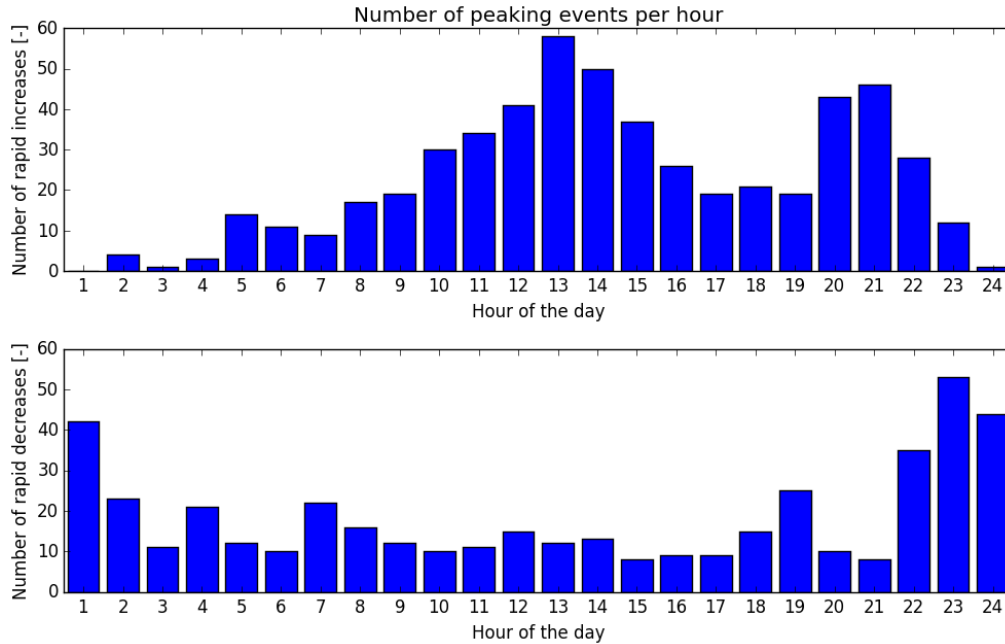


Figura A7.249 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

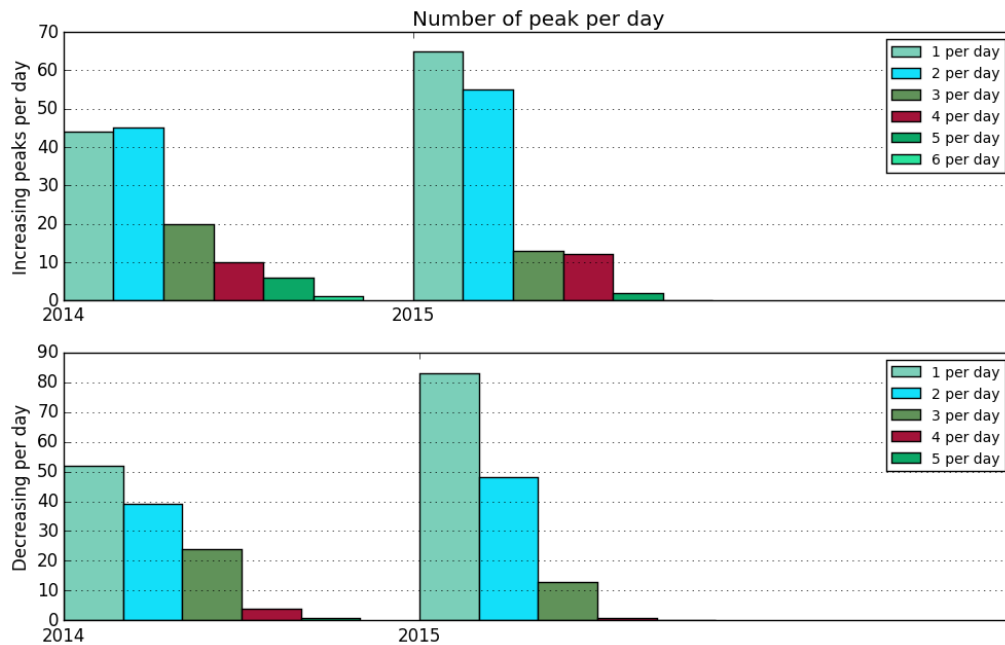


Figura A7.250 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida brusca se concentran en torno a las 13 horas  $\pm$  3 horas, y también entre las 20 y las 22. Los eventos de bajada ocurren típicamente entre las 22 y la 1. La mayor parte de los días se tiene dos eventos.

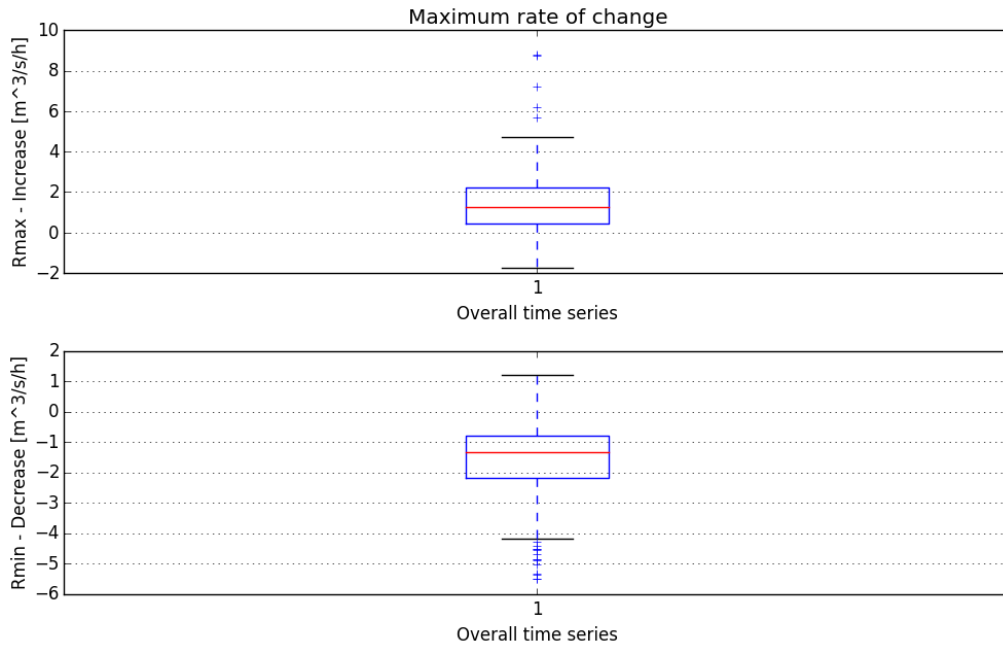


Figura A7.251 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

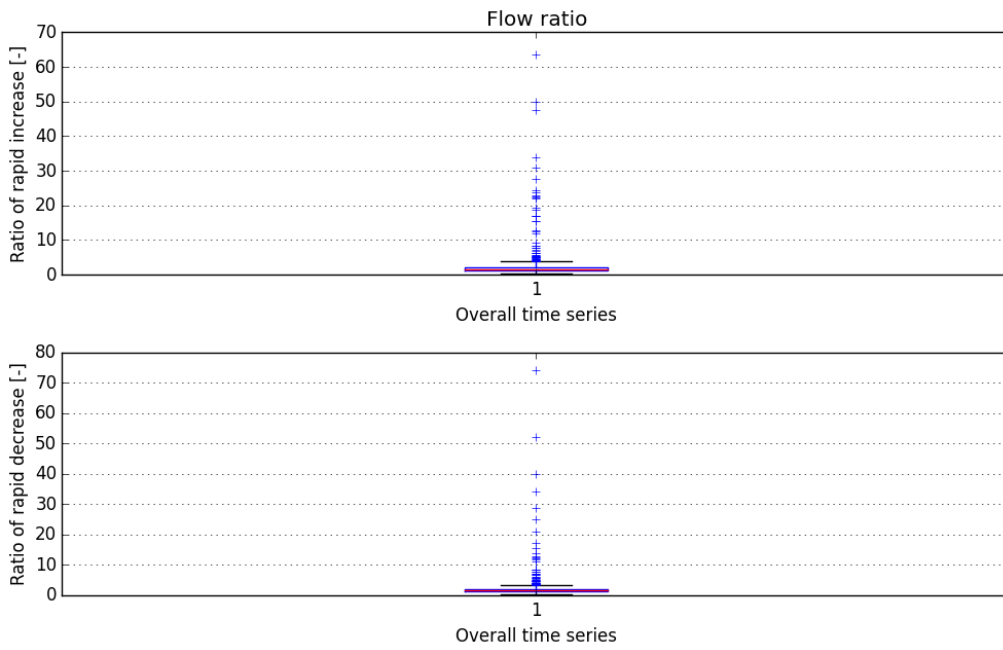


Figura A7.252 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 37

Ésta corresponde a la última central en una serie. Si bien es de paso, hay una gran central de embalse aguas arriba y por ello la fuerte capacidad de regulación del hidrograma. Faltan 1517 datos horarios en la serie de tiempo.

Durante un mes de verano, se tiene fluctuaciones mucho menores que en el resto del año, y luego hay un mes entero sin generación alguna.

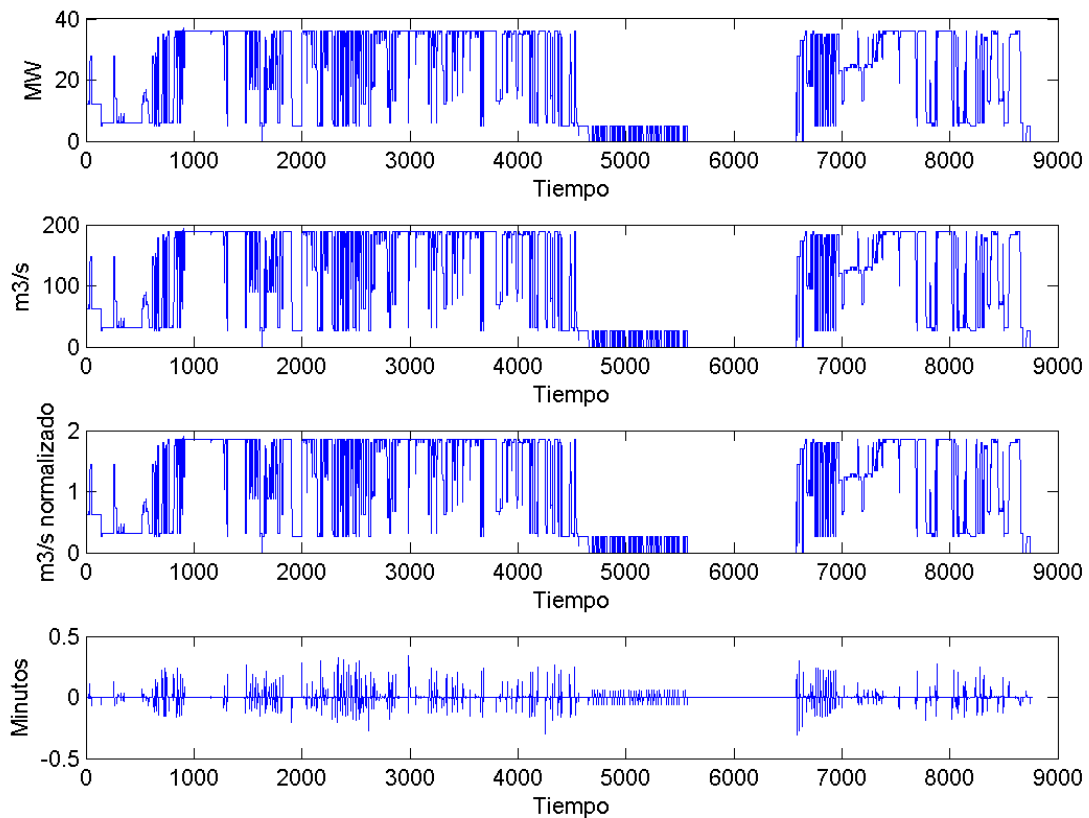


Figura A7.253 Comportamiento estimado en operación real de la Central 37

- a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

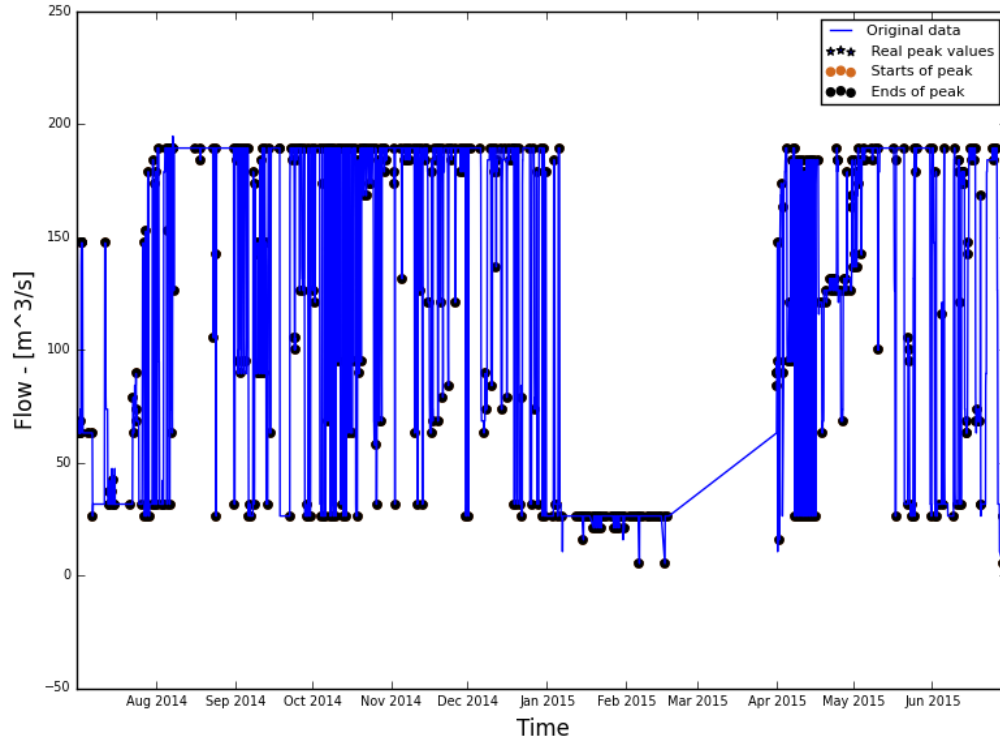


Figura A7.254 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

NO ARROJA GRAFICO COSH

Figura A7.255 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida



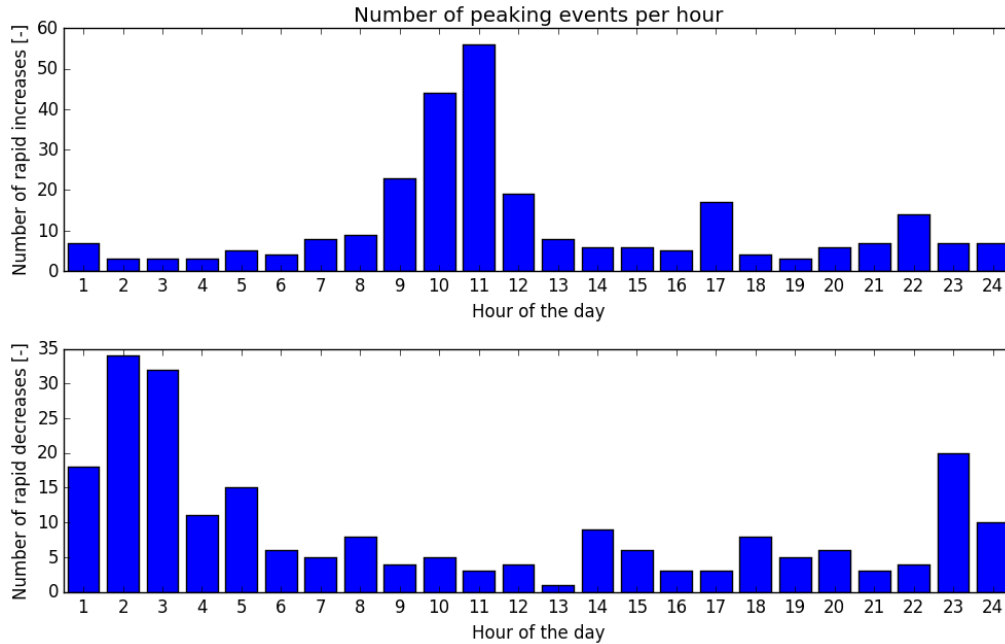


Figura A7.256 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

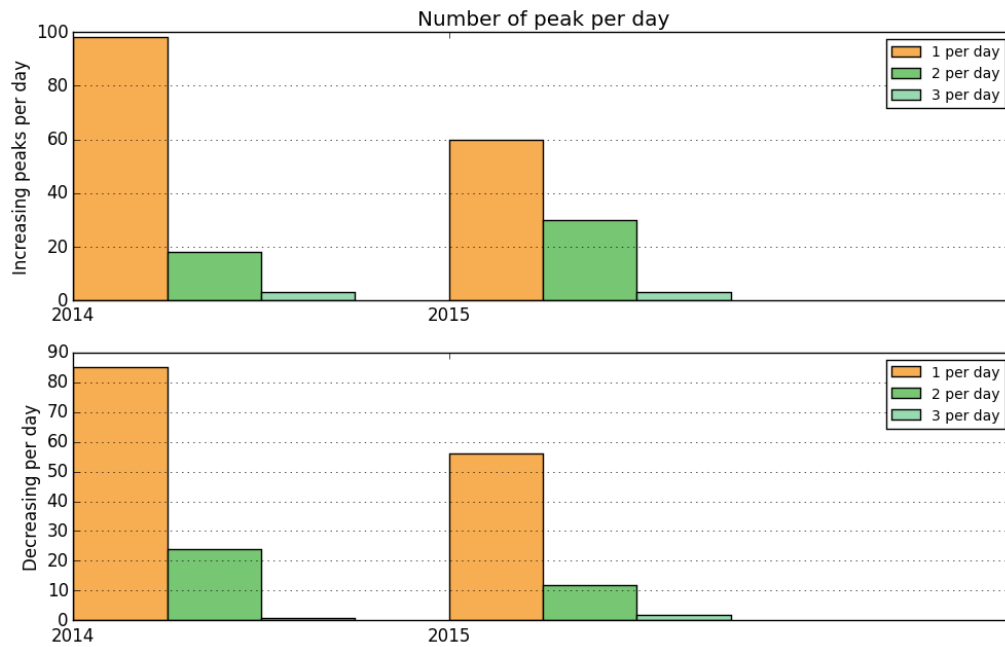


Figura A2.257 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos de subida están concentrados en las horas de la media mañana, entre las 9 y las 12. Las bajadas bruscas, a su vez, ocurren de noche, entre las 23 y las 5 de la mañana. La mayor parte del tiempo, ocurre un evento de *peaking* diario.

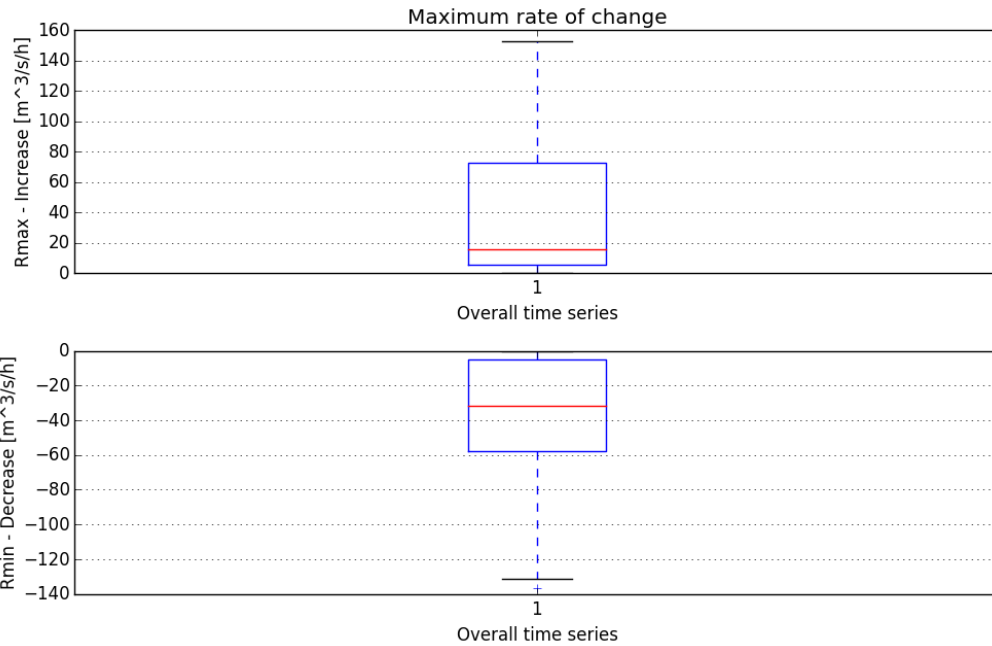


Figura A7.258 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

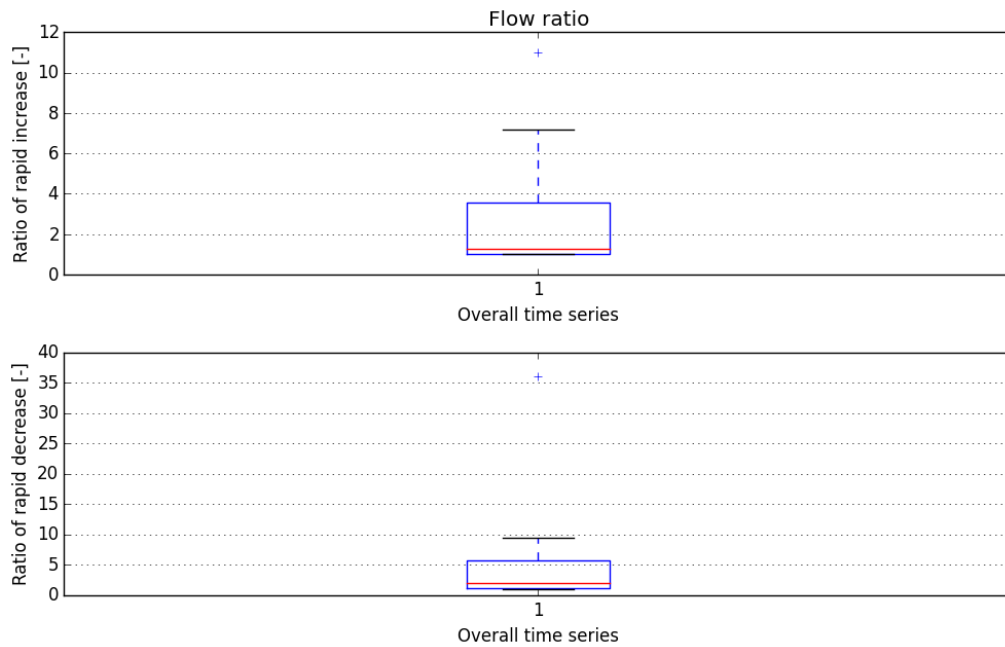


Figura A7.259 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 38

Faltan 460 datos en la serie de tiempo.

Ésta central corresponde también a la última en serie, aguas abajo de varias otras, algunas de las cuales tienen cierta capacidad de regulación. En los meses de deshielo, genera a capacidad con fluctuaciones de alta frecuencia pero magnitud relativa muy limitada. En los meses de invierno por otra parte, las fluctuaciones tienen mayor magnitud, tanto absoluta como relativa.

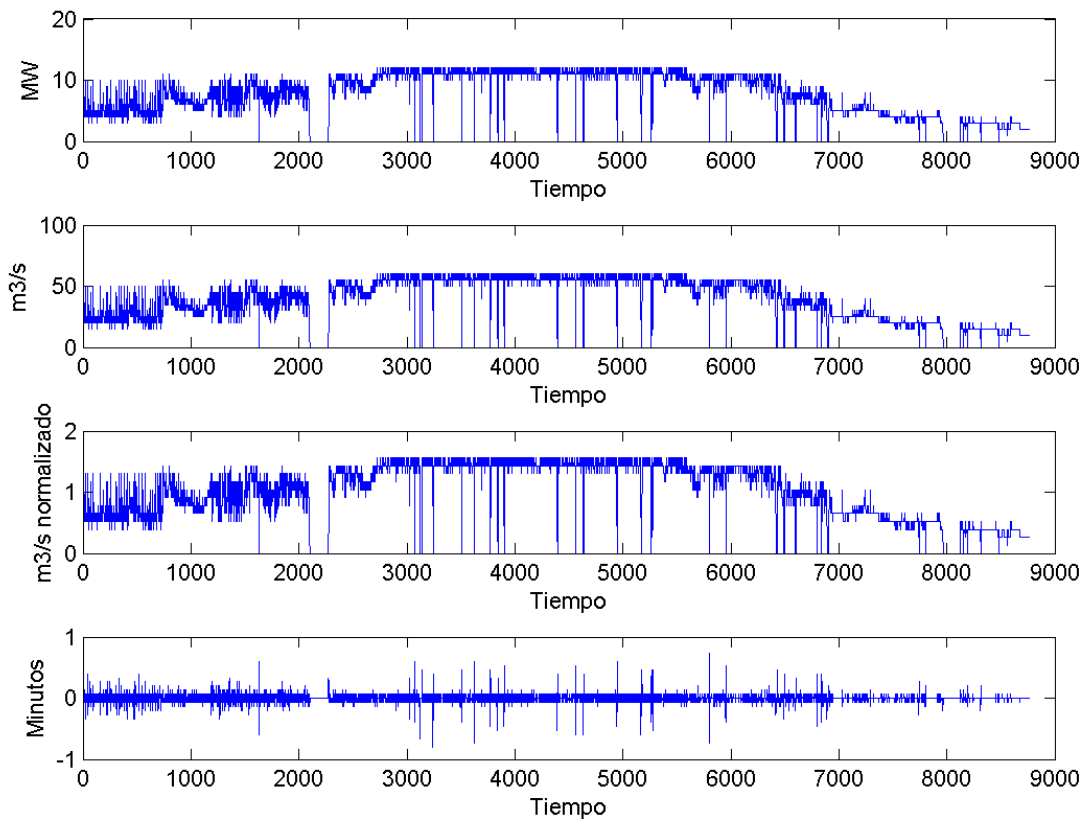


Figura A7.260 Comportamiento estimado en operación real de la Central 38  
a) Despacho horario informado por el CDEC-SIC, b) Caudal turbinado de la central, c) Caudal turbinado normalizado de la central, d) Tiempo de respuesta estimado entre consignas de despacho

El 90% de los eventos de caudal alto dura 4 horas o menos, mientras que cerca de un 70% de los eventos valle son de duración instantánea.

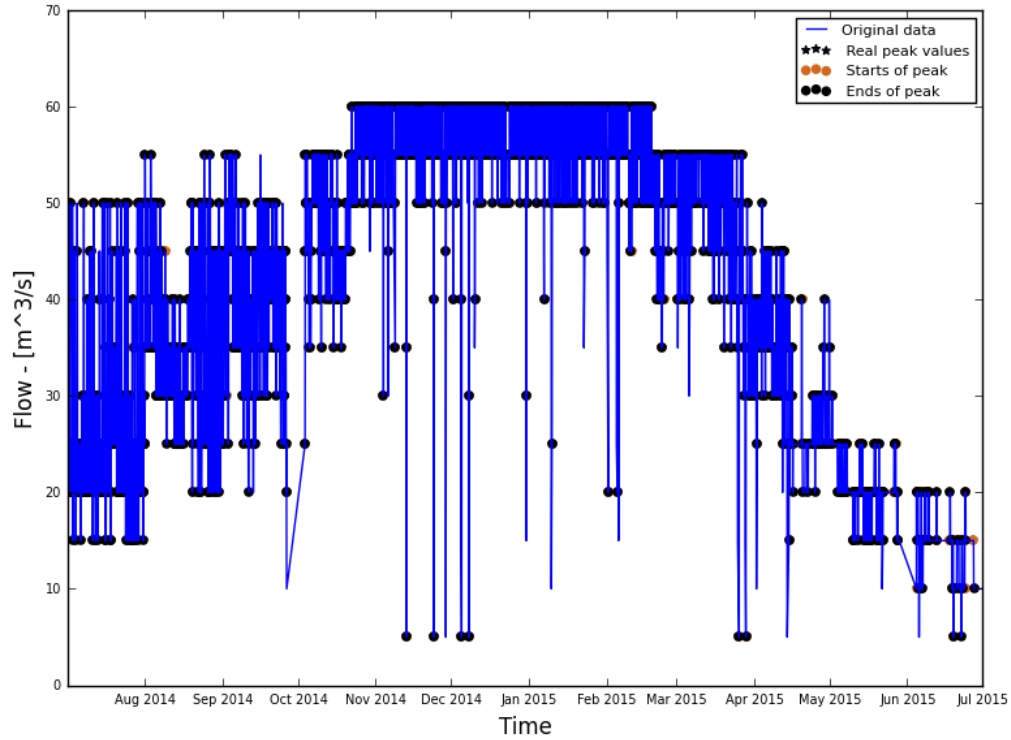


Figura A7.261 Serie de tiempo con eventos de hydropeaking detectados por COSH

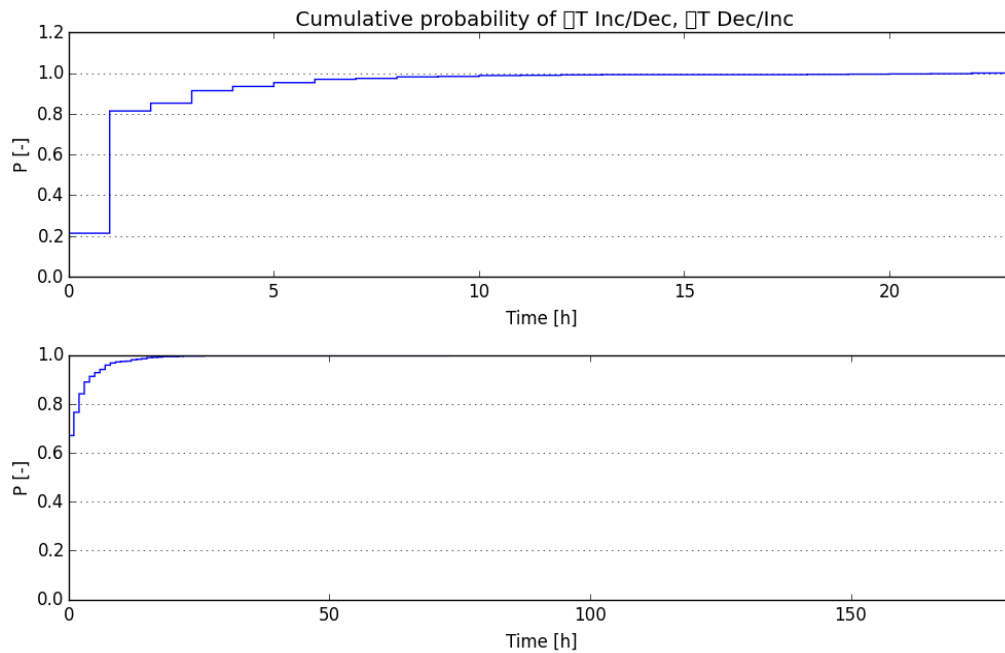


Figura A7.262 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

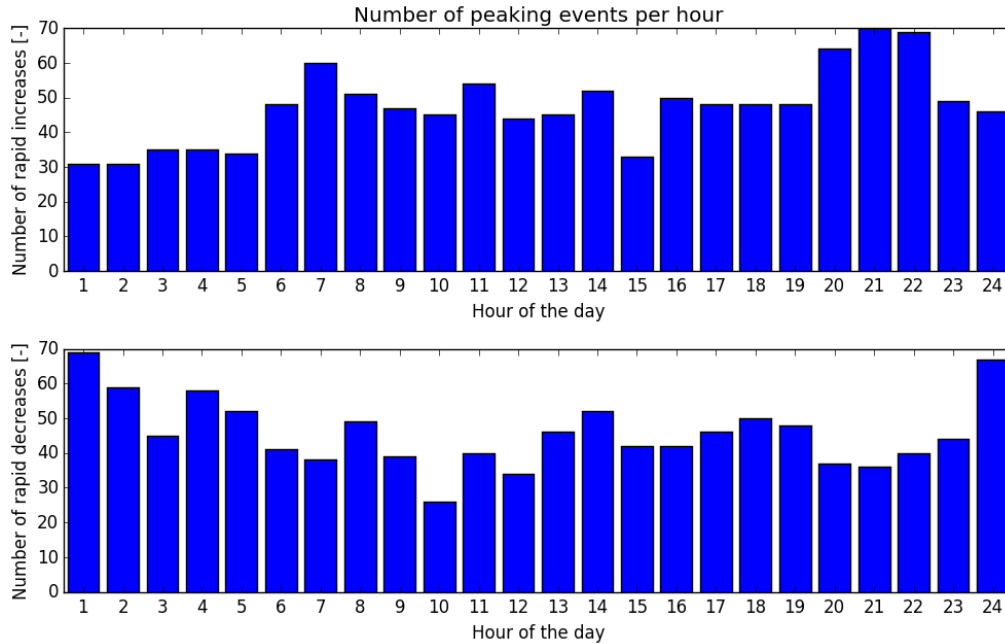


Figura A7.263 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

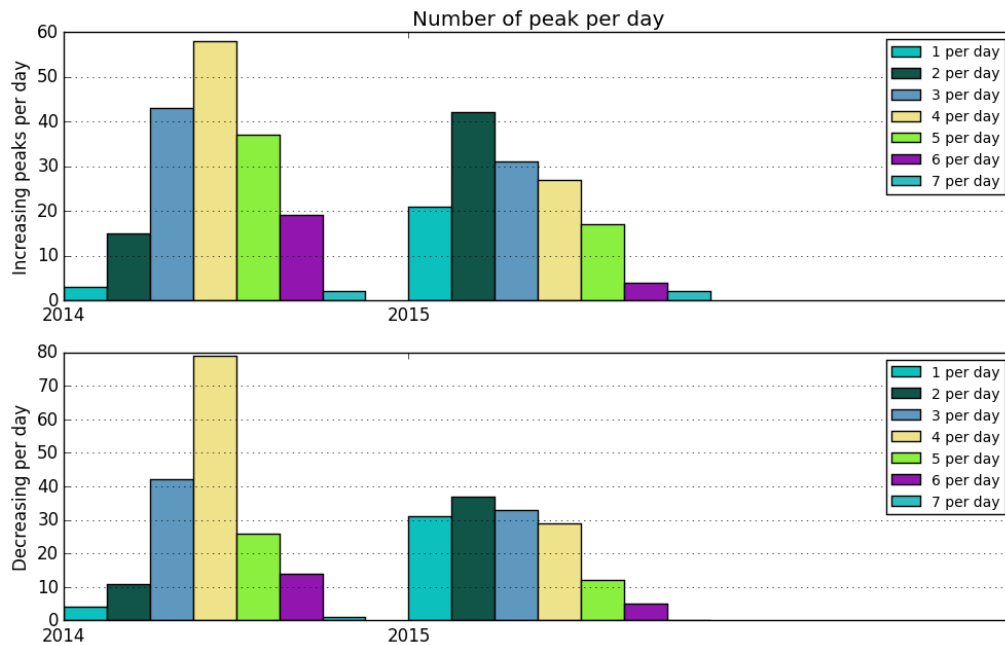


Figura A7.264 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Los eventos tienden a ocurrir en cualquier hora del día, y son de alta frecuencia, típicamente 3, 4 o 5 eventos por día.

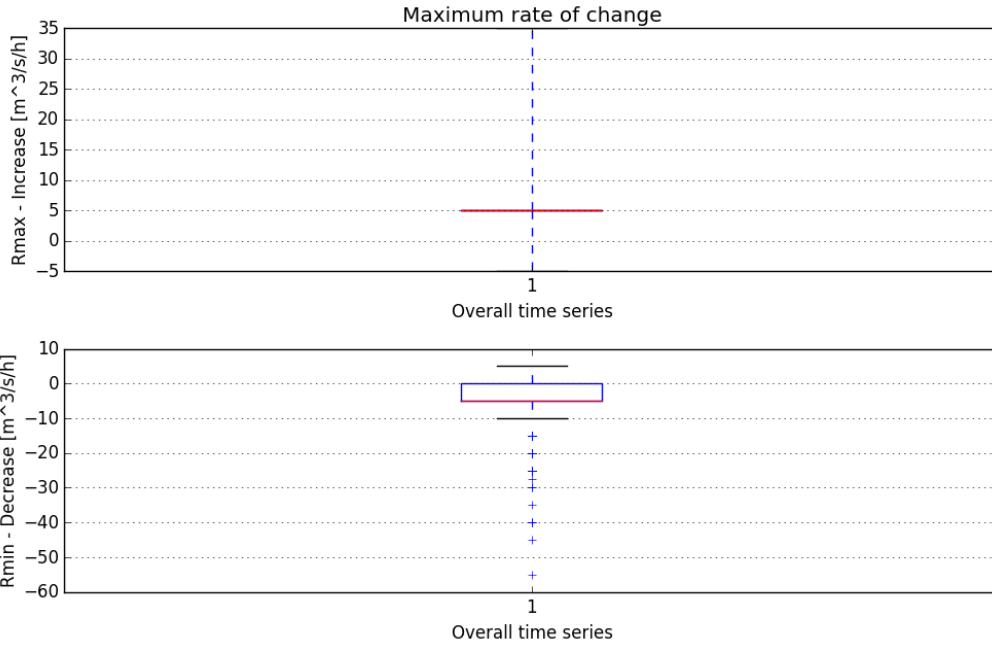


Figura A7.265 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

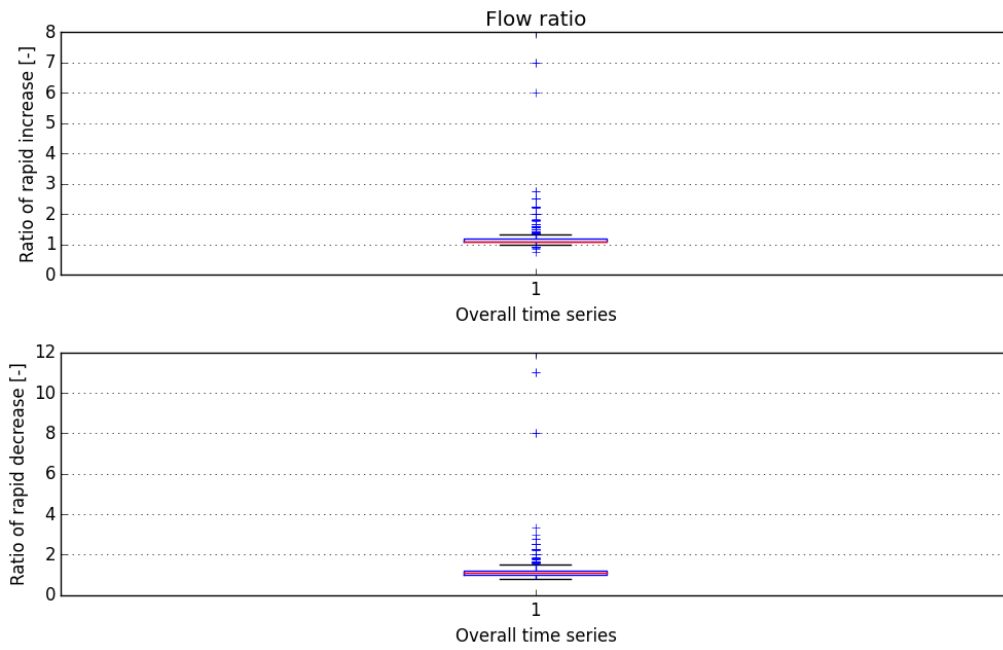


Figura A7.266 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Central 39

Este tramo corresponde al río Futaleufú, al cual ingresan fluctuaciones por generación de punta, provenientes de Argentina. El análisis en este caso no considera datos CDEC-SIC sino que sólo caudales horarios obtenidos del sitio de la DGA, 31 km debajo la restitución, por lo cual sólo se muestran las gráficas generadas por COSH. La serie de datos horarios es completa.

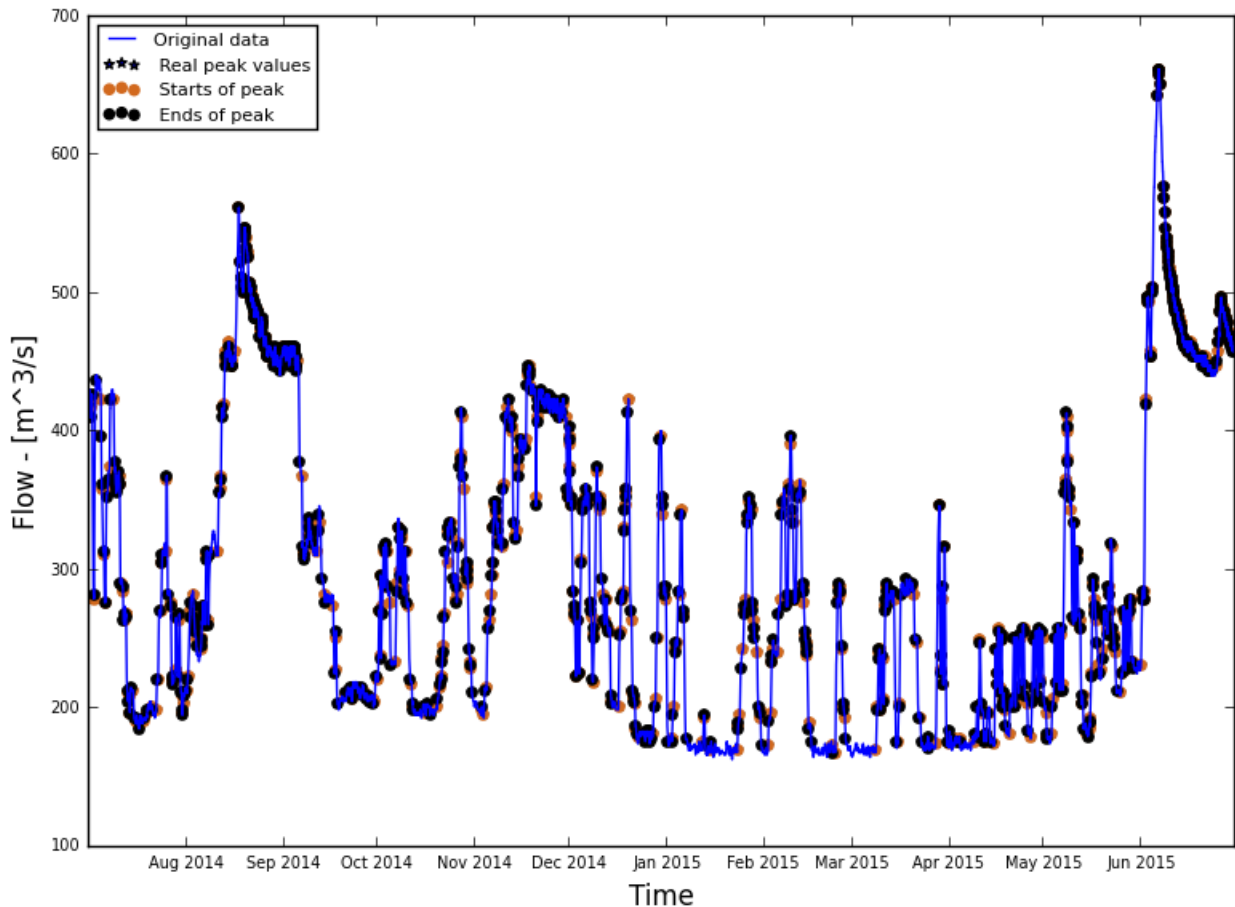


Figura A7.267 Serie de tiempo de caudales pasantes, con eventos de hydropeaking detectados por COSH

Se observa que hay pocas fluctuaciones en los meses de invierno, pero entre la primavera y el otoño, ocurren fluctuaciones a dos escalas: semanal e intradiaria.

En cuanto a su duración, un 50% de los eventos de caudal alto duran 3 h o menos. Sin embargo, el percentil 90 está en torno a las 20 h, indicando que algunos eventos pueden tener una duración larga. Los eventos de valle pueden durar aún más.

Se reconoce que este es un hidrograma medido en el cauce y no turbinado, ya que tiene un aspecto mucho más natural, con eventos extremos y mayor variabilidad que los casos anteriores.

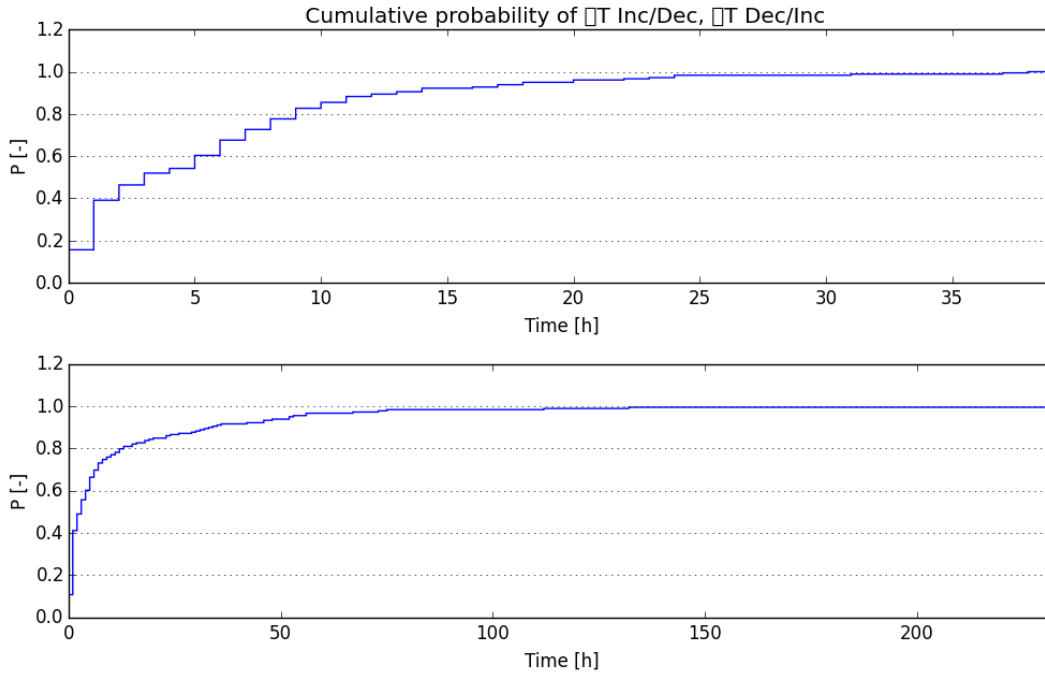


Figura A7.268 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

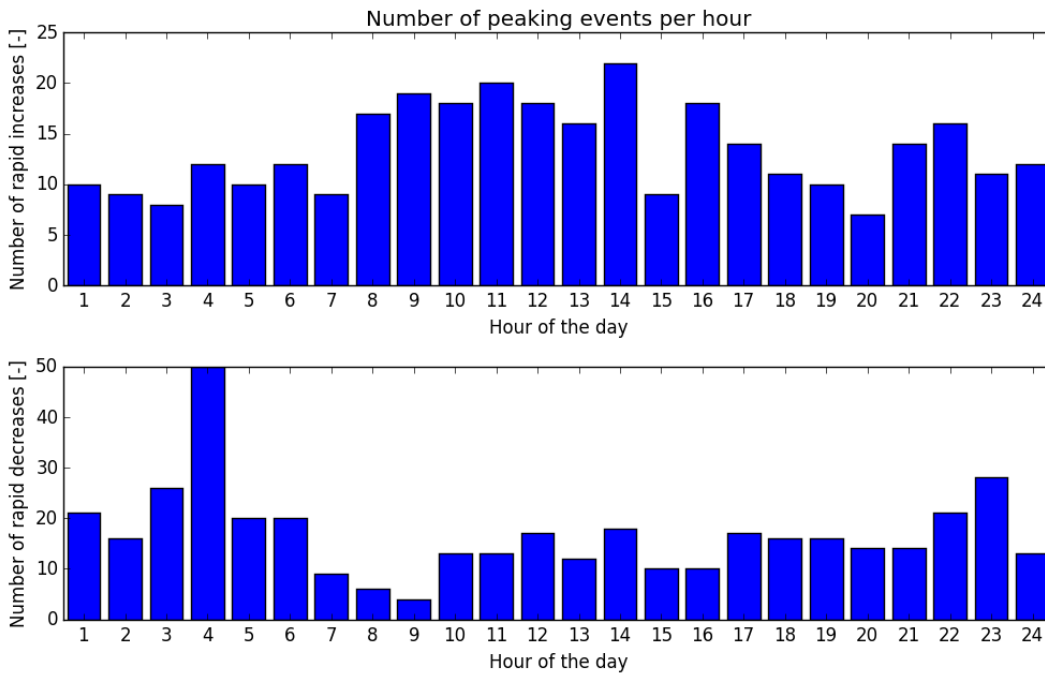


Figura A7.269 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios



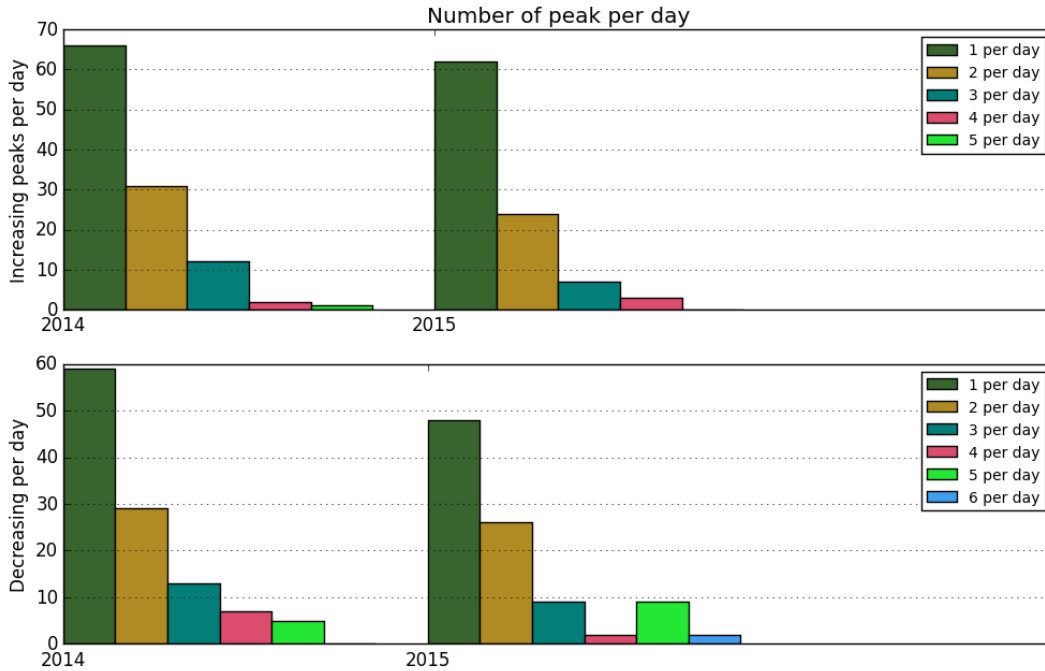


Figura A7.270 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

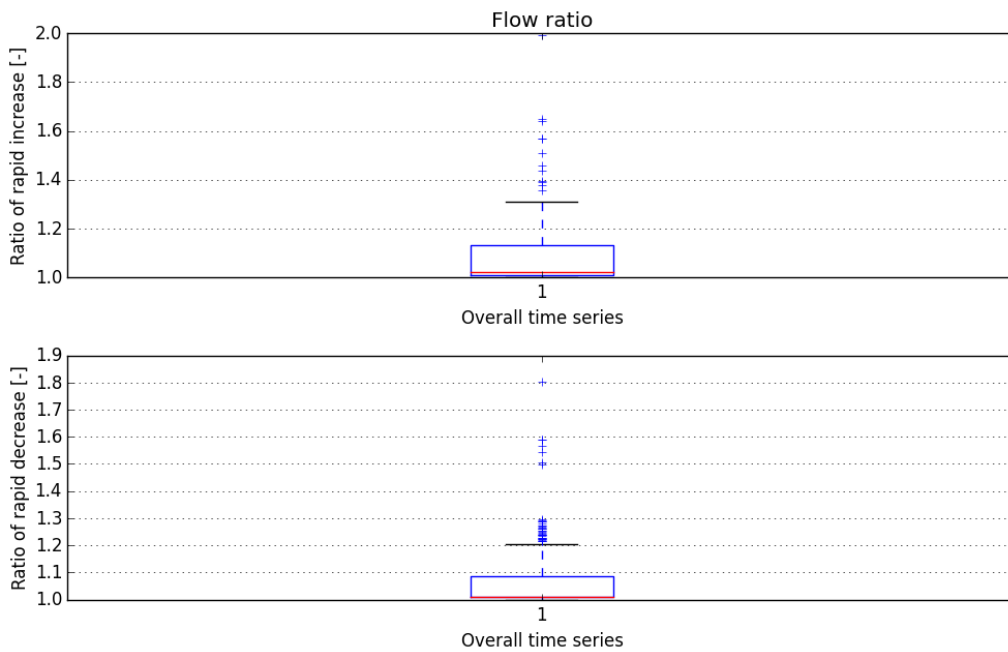


Figura A7.271 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

Los eventos de subida pueden ocurrir en cualquier hora del día, al igual que los de bajada (aunque éstos tengan una moda a las 4). Típicamente ocurre un solo evento diario, tal vez dos.

Este tramo corresponde a la central hidroeléctrica para la cual se cuenta con dos meses y medio de datos de caudal, medidos cada 5 minutos. El análisis en este caso no considera datos CDEC-SIC, por lo cual sólo se muestran las gráficas generadas por COSH. La serie de datos horarios es completa. En orden a no crear cientos de eventos cortos, por fluctuaciones de corto plazo medidas por el sensor de presión (ver Figura 2.281 para un ejemplo de los datos crudos de caudal), se utilizó una duración mínima de 20 minutos para definir la ocurrencia de eventos de subida o de bajada.

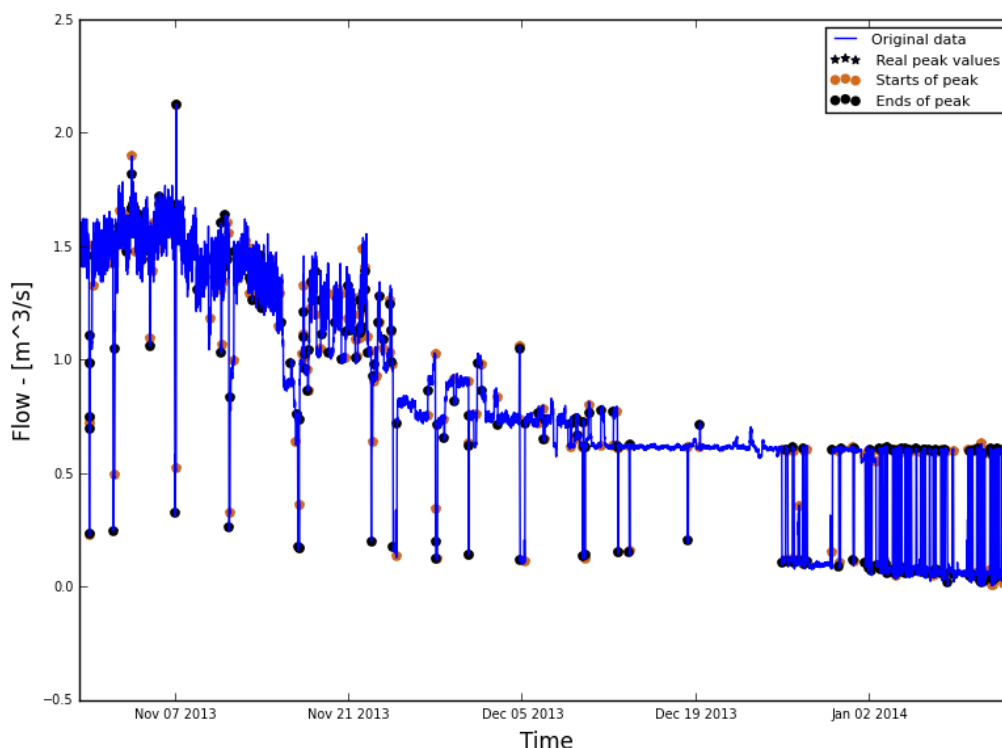


Figura A7.272 Serie de tiempo de caudales pasantes, con eventos de hydropeaking detectados por COSH

Se observa fluctuaciones a dos escalas, además de un efecto estacional. Hasta mediados de diciembre 2013, hay eventos de alta frecuencia y magnitud relativamente baja, a los que se suman fluctuaciones a la escala semanal. Más adelante, se genera con un valor máximo bajo, y con fluctuaciones de mayor magnitud relativa.

En cuanto a su duración, entre un 25 y un 30% de los eventos de caudal alto son instantáneos, y un 50% dura media hora o menos. Sin embargo, el percentil 90% está en torno a las 20 h, reflejando que algunos eventos pueden tener una duración larga. Los eventos de valle pueden durar aún más.

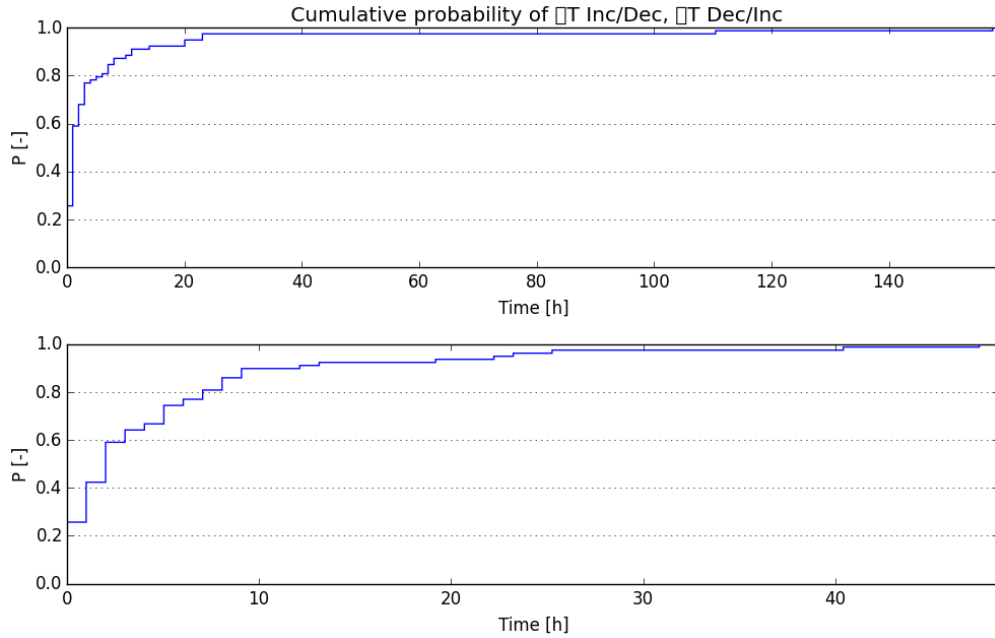


Figura A7.273 Distribución de probabilidad acumulada para a) la duración entre el final de un incremento y el principio de la bajada siguiente, b) la duración entre el final de un decremento y el principio de la siguiente subida

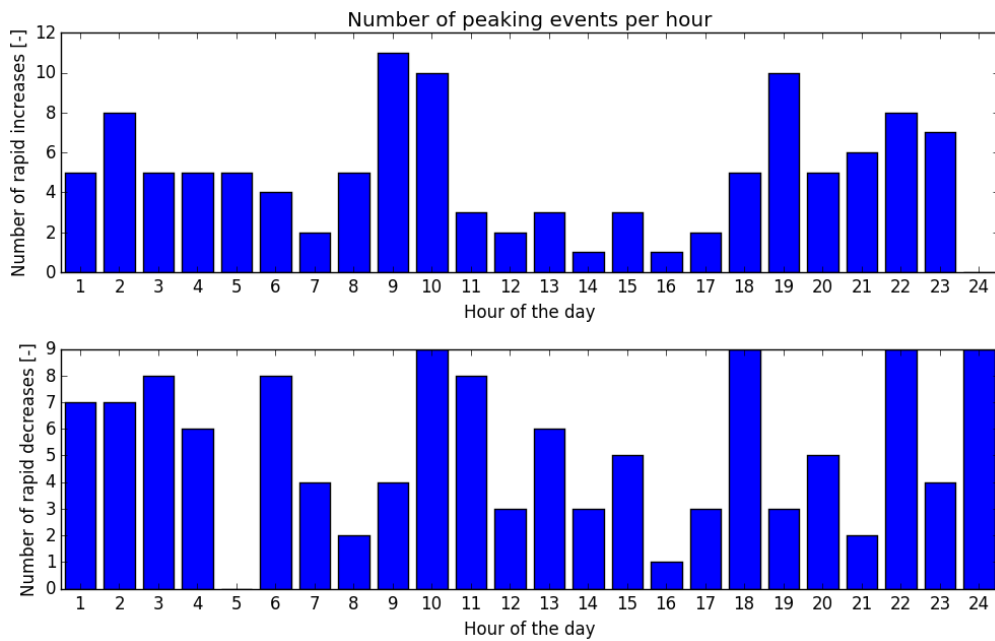


Figura A7.274 Distribución horaria de eventos de hydropeaking  
a) Histograma de incrementos intradiarios, b) Histograma de decrementos intradiarios

Los eventos de subida suelen ocurrir con mayor frecuencia en la media mañana y en la tarde, pero pueden tenerse en cualquier momento del día.

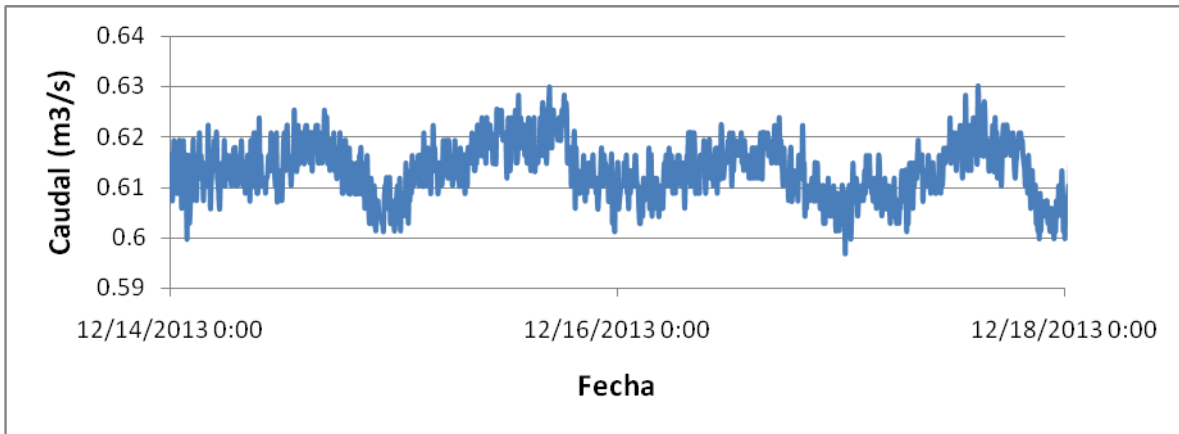


Figura A2.275 Fluctuaciones de corto plazo en los datos crudos de caudal, sobre un período de cuatro días en Diciembre 2013

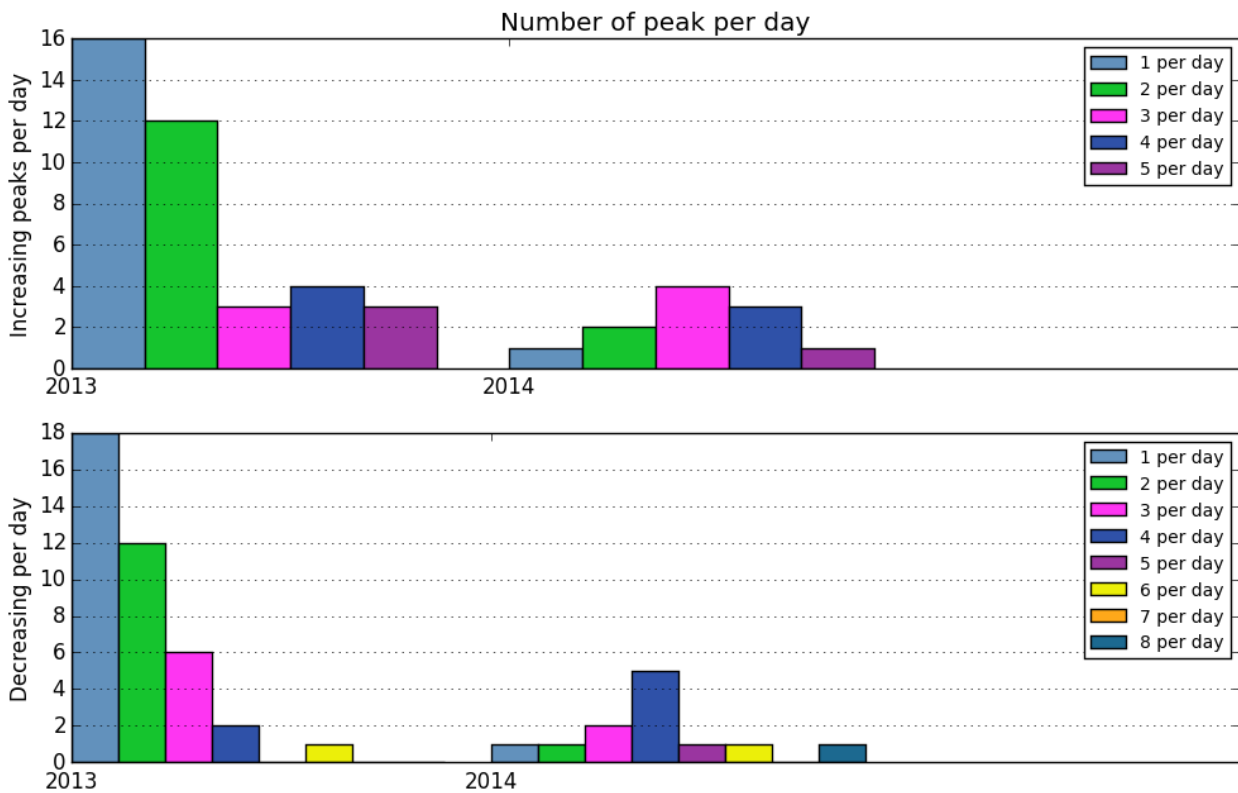


Figura A7.276 Días con una determinada cantidad de eventos intradiarios de a) subida y b) bajada

Sobre el período completo de dos meses y medio, se observa que la frecuencia promedio de ocurrencia de eventos de *peaking* está entre uno y dos al día. En Enero de 2014, sin embargo, se observa claramente un cambio de comportamiento en la serie de tiempo (Figura 2.278, a la derecha), que se traduce en una frecuencia mucho mayor de eventos, con modas de 3 subidas y 4 bajadas diarias.

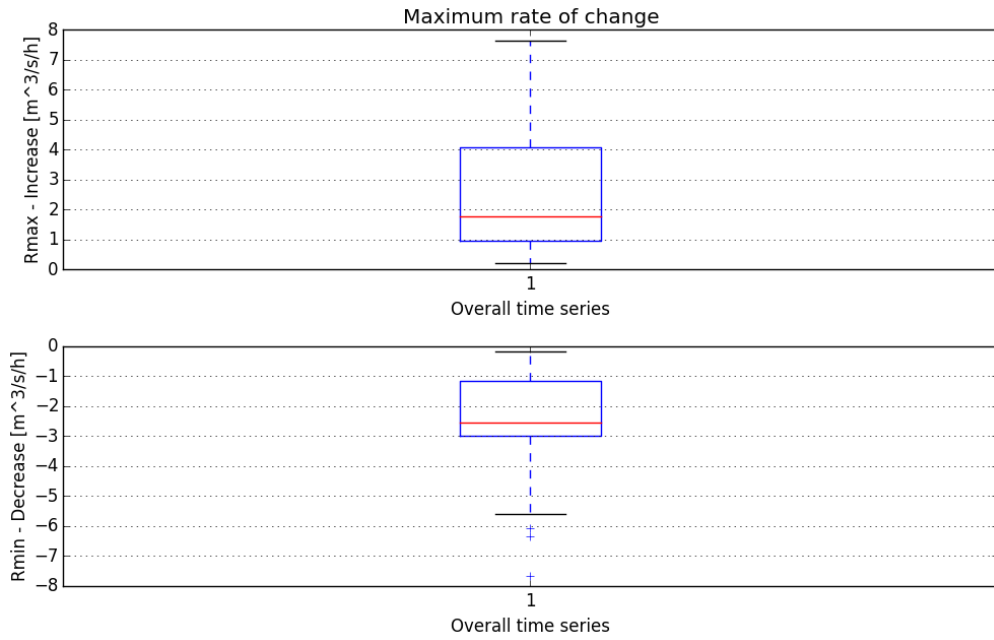


Figura A7.277 Tasa máxima de variación del caudal por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

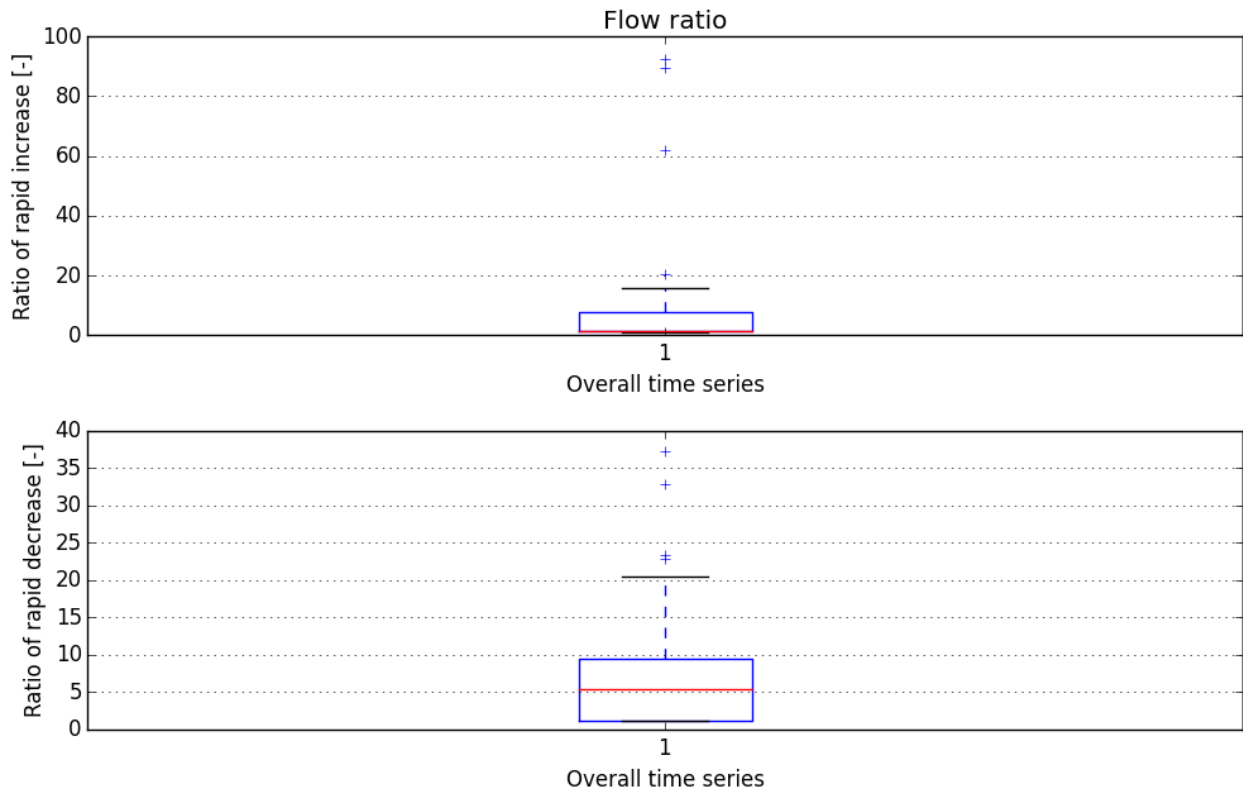


Figura A7.278 Razones entre caudal máximo y mínimo por evento, para a) los incrementos y b) los decrementos

## Anexo 2: Golsario de acrónimos y abreviaciones

CDEC-SIC: Centro de despacho económico de carga del sistema interconectado central

CH: Central hidroeléctrica

EPIDOR: "Établissement Public Interdépartemental de la Dordogne" (agencia pública inter provincial del río Dordogne)

kWh: kilowatt-hora

LFSPA: Ley Federal Suiza sobre la Protección de las Aguas

M.Sc. o bien Mag.: grado de magíster

MW: megawatt

OFEV: "Office Fédéral de l'Environnement" (ministerio suizo del ambiente)

OSPA: Ordenanza suiza de protección de las aguas

Ph.D.: grado de doctor

Q<sub>ma</sub>: Caudal medio anual

Q<sub>máx</sub>: Caudal máximo (o *peak*) de *hydropeaking*

Q<sub>mín</sub>: Caudal mínimo (o piso, o valle) de *hydropeaking*

SIC: Sistema interconectado central

TNC: The nature conservancy

ERNC: Energía renovable no convencional

BESS: Battery energy storage system

SING: Sistema interconectado del norte grande

## Anexo 3: Objetivos del Estudio

### Objetivos del Estudio

El estudio "Análisis de medidas de mitigación para los efectos de las variaciones intradiarias de caudal, producto de la generación de punta" tiene por objetivo general "Analizar las medidas de mitigación para los efectos de la oscilación intradiaria de caudales, producto de la generación de punta, aplicables al desarrollo hidroeléctrico de Chile."

Sus objetivos específicos corresponden a:

1. Identificar cuántos ríos, representativos de Chile, sufren variaciones intradiarias de caudal, producto de la generación de punta
2. Identificar las medidas de mitigación o regulación que se aplican internacionalmente sobre los impactos de las variaciones intradiarias de caudal, producto de la generación de punta
3. Identificar cómo afectan, en general, las variaciones intradiarias de caudal producto de la generación de punta, a los demás usos competitivos dentro de una cuenca
4. Identificar el nivel de aceptación, en general, de las medidas de mitigación por parte de los desarrolladores de proyectos