



Subcomité de Recursos Energéticos Renovables - SURER

DOCUMENTO BASE REGLAMENTO MEDICIÓN DE VARIABLES HÍDRICAS

1- 08-2020

TABLA DE CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	6
1.1.	Contexto legal	6
1.1.1.	Normatividad previa	7
1.2.	Estudios CNO	13
1.2.1.	INGFOCOL	13
1.2.2.	Contrato CNO – UNAL	15
2	INFORMACIÓN GENERAL	16
2.1.	Base de información actual de variables hídricas	16
2.1.1.	Circular CNO 032 del 20 de junio de 2019	16
2.2.	Usos actuales de la información de variables hídricas para el planeamiento y la operación del Sistema	17
3	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.	18
3.1.	Árboles de problemas transversales a todas las variables.	18
3.1.1.	Problema 1: Falta de uniformidad en los criterios mínimos de medición de las variables (frecuencia, tipo de medición, método entre otros de acuerdo con la variable).	18
3.1.2.	Problema 2: No se tienen definidos los rangos de la incertidumbre de las variables operativas (Aportes, Nivel, Volúmen, Vertimientos, Descargas no Turbinadas, Caudales Turbinados).	21
3.1.3.	Problema 3: Deficiencias en los sistemas y protocolos de almacenamiento, reporte y respaldo de la información operativa de las plantas despachadas centralmente.	24
3.2.	Árboles de problemas asociados a la variable aportes a un embalse.	27
3.2.1.	Problema 1: Limitaciones en el uso de mediciones directas para la estimación de los aportes al embalse.	28
3.2.2.	Problema 2: Limitaciones de la aplicación del balance operativo para la estimación de los aportes al embalse.	33
3.2.3.	Problema 3: No es posible medir directamente el 100% de los aportes a un embalse.	36
3.2.4.	Problema 4: En algunos casos no es posible medir directamente los aportes.	39
3.2.5.	Problema 5: Dependencia de información de terceros para la estimación de los aportes.	42
3.2.6.	Problema 6: Las mediciones pueden entregar datos inconsistentes o sin sentido físico.	45
3.2.7.	Problema 7: Falta de coherencia entre los valores diarios y los datos mensuales de aportes.	48
3.3.	Árboles de problema asociados a los volúmenes del embalse.	54
3.3.1.	Problema 1: En algunos casos es difícil medir automáticamente el nivel del embalse.	56
3.3.2.	Problema 2: Dependencia de información de terceros.	58
3.3.3.	Problema 3: Las mediciones pueden entregar datos inconsistentes.	61
3.4.	Árboles de problema asociados a los vertimientos.	64
3.4.1.	Problema 1. Limitaciones en el uso de la curva de calibración del vertedero para estimar el vertimiento.	65
3.4.2.	Problema 2. Dificultad para medir directamente los vertimientos.	68
3.4.3.	Problema 3: Dependencia de información de terceros.	72

3.5.	Árboles de problema asociados a las descargas no turbinadas.	75
3.5.1.	Problema 1. Dificultades para medir directamente las descargas no turbinadas.	75
3.5.2.	Problema 2. Limitaciones en el uso de la curva de calibración de las estructuras para estimar la descarga no turbinada.	78
3.5.3.	Problema 3. Falta de registro de algunas de las descargas no turbinadas empleadas para usos diferentes a la generación en la central o en servicios complementarios.	81
3.6.	Árboles de problema asociados a factores de conversión	83
3.6.1.	Problema 1: Simplificación de la curva del factor de conversión.	84
3.6.2.	Problema 2: Dificultad técnica en la estimación del factor de conversión.	88
3.7.	Árboles de problema asociados a los caudales turbinados.	91
3.7.1.	Problema 1: Simplificación de la curva del factor de conversión.	91
3.7.2.	Problema 2: No es posible medir el 100% del caudal turbinado.	94
3.7.3.	Problema 3: Dependencia de información de terceros.	97
3.7.4.	Problema 4: Las mediciones pueden entregar datos inconsistentes.	98
	Anexo Consolidado de la Circular CNO 032 SURER	102

Lista de Figuras

Figura 1 Árbol del problema 1 transversal a todas las variables.....	19
Figura 2 Árbol de problema 2 transversal a todas las variables	23
Figura 3 Árbol del problema 3 transversal a todas las variables.....	25
Figura 4 Árbol de problema 1 para la variable aportes	29
Figura 5 Sección transversal.....	31
Figura 6 Ejemplo curva de gasto o nivel-caudal	32
Figura 7 Árbol de problema 2 para la variable aportes	34
Figura 8 Árbol de problema 3 para la variable aportes	37
Figura 9 Árbol de problema 4 para la variable aportes	40
Figura 10 Árbol de problema 5 para la variable aportes	43
Figura 11 Árbol de problema 6 para la variable aportes	46
Figura 12 Árbol de problema 7 para la variable aportes	49
Figura 13 Árbol de problema 8: Falta de información de las centrales hidroeléctricas menores.....	52
Figura 14 Esquema del procedimiento para calcular el volumen de un embalse. Fuente: (UNAL 2019).....	54
Figura 15 Árbol de problema 1 para la variable volumen.....	57
Figura 16 Árbol de problema 2 para la variable volumen.....	60
Figura 17 Árbol de problema 3 para la variable volumen.....	62
Figura 18 Árbol de problema 1 para la variable vertimientos	66
Figura 19 Árbol de problema 2 para la variable vertimientos	69
Figura 20 Árbol de problema 3 para la variable vertimientos.....	73
Figura 21 Árbol de problema 1 para la variable descarga no turbinada	76
Figura 22 Árbol de problema 2 para la variable descarga no turbinada	79
Figura 23 Árbol de problema 3 para la variable descarga no turbinada	82
Figura 24 Árbol de problema 1 para la variable factor de conversión	85
Figura 25 Factor de Conversión horario, Central Guatapé. Fuente: CNO, 2016	86
Figura 26 Árbol de problema 2 para la variable factor de conversión	89
Figura 27 Árbol de problema 1 para la variable caudal turbinado.....	92
Figura 28 Árbol de problema 2 para la variable caudal turbinado.....	95
Figura 29 Árbol del problema 3 para la variable caudal turbinado.....	99

Lista de tablas

Tabla 1. Listado de Normatividad asociada	12
Tabla 2. INGFOCOL	14
Tabla 3. Usos Información hidrológica	17

1 ANTECEDENTES

1.1. Contexto legal

En el Código de Operación previsto en la Resolución CREG 025 de 1995 (Reglamento de Operación) se estableció en el numeral 6.2 lo siguiente:

“DECLARACIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS

Las empresas de generación, propietarias de plantas hidráulicas deben informar diariamente al CND antes de las 07:00 horas de cada día los siguientes datos para cada embalse:

Nivel del embalse a las 06:00 horas del día en curso, especificando la cota leída en el embalse en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y los millones de metros cúbicos (Mm3) correspondientes a esa cota.

El agua turbinada por la planta en el período de las 06:00 horas del día anterior y las 06:00 horas del día en curso expresada en Mm3.

El agua vertida por el embalse en el período de las 06:00 horas del día anterior y las 06:00 horas del día en curso expresada en Mm3.

El agua descargada del embalse por compuertas de fondo o cualquier otro sistema, en el período de las 06:00 horas del día anterior y las 06:00 horas del día en curso, expresada en Mm3.

El promedio de aportes al embalse en el período de las 06:00 horas del día anterior y las 06:00 horas del día en curso expresados en metros cúbicos por segundo (m3/Seg).

Relación de mantenimientos o indisponibilidades previstas para el día siguiente en el sistema hidráulico asociado al embalse, tal que se afecte la operación del mismo. Se debe especificar el período de mantenimiento y las restricciones correspondientes.

Las empresas de generación propietarias de las plantas hidráulicas asociadas a embalses con regulación igual o menor a un día, deben informar diariamente al CND antes de las 07:00 horas de cada día los aportes naturales de todos los ríos que entran al embalse expresados en m3/seg.

La anterior información debe ser enviada al CND de acuerdo con el formato “Declaración de datos hidrológicos”. Anexo CO-3.”

Mediante la Resolución CREG 235 de 1997 se hizo la siguiente modificación al numeral 6.2 de la Resolución CREG 025 de 1995:

“ARTÍCULO 3o. En el Numeral 6.2 del Código de Operación (Resolución CREG-025 de 1995) se efectúan las siguientes modificaciones:

“07:00 horas” por “06:00 horas” y “06:00 horas” por “05:00 horas”

Posteriormente, mediante el artículo 36 de la Resolución CREG 060 de 2019 se modificó el numeral 6.2 del Código de Operación, el cual quedó así:

“6.2 DECLARACIÓN DE DATOS HIDROLÓGICOS

Las empresas de generación, propietarias de plantas hidráulicas deben informar diariamente al CND antes de las 06:00 horas de cada día los siguientes datos para cada embalse:

- Nivel del embalse a las 05:00 horas del día en curso, especificando la cota leída en el embalse en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) y los millones de metros cúbicos (Mm3) correspondientes a esa cota.*
- El agua turbinada por la planta en el período de las 05:00 horas del día anterior y las 05:00 horas del día en curso expresada en Mm3.*
- El agua vertida por el embalse en el período de las 05:00 horas del día anterior y las 05:00 horas del día en curso expresada en Mm3.*
- El agua descargada del embalse por compuertas de fondo o cualquier otro sistema, en el período de las 05:00 horas del día anterior y las 05:00 horas del día en curso, expresada en Mm3.*
- El promedio de aportes al embalse en el período de las 05:00 horas del día anterior y las 05:00 horas del día en curso expresados en metros cúbicos por segundo (m3/Seg).*
- Relación de mantenimientos o indisponibilidades previstas para el día siguiente en el sistema hidráulico asociado al embalse, tal que se afecte la operación del mismo. Se debe especificar el período de mantenimiento y las restricciones correspondientes.*

Las empresas de generación propietarias de las plantas hidráulicas filo de agua deben informar diariamente al CND antes de las 06:00 horas de cada día los aportes naturales de todos los ríos que entran al embalse expresados en m3/seg.

La anterior información debe ser enviada al CND de acuerdo con el formato “Declaración de datos hidrológicos”. Anexo CO-3.”

1.1.1. Normatividad previa

Para dar cumplimiento al reglamento y a la normatividad asociada con la operación, todos los agentes responsables de las plantas de generación hidráulica despachadas centralmente, declaran diariamente al operador del SIN, los datos hidrológicos. Para ello, envían al CND un archivo con los valores de cada una de las variables operativas. Para obtener esta información, los agentes miden la variable requerida bien sea en estaciones de su propiedad o de un tercero. En algunos casos, cuando no es posible realizar

mediciones directas, se utilizan estimaciones a través de técnicas hidrométricas establecidas de acuerdo con el estado del arte de la hidrología e hidráulica.

Las variables que actualmente son objeto de reporte diario por parte de los agentes y el nombre utilizado en forma genérica para dicho reporte (más adelante se presenta el inventario actual del estado de reporte de información operativa para cada planta del SIN), son:

- Nivel del embalse a las 24:00 horas del día anterior (NIVEL)
- Volumen útil del embalse a las 24:00 horas del día anterior (VOLUMEUT)
- Caudal promedio diario de vertimiento entre las 0:00 y las 24:00 horas del día anterior (VERTIM)
- Caudal promedio diario de agua de descarga turbinada entre las 0:00 y las 24:00 horas del día anterior (DESTUR)
- Caudal promedio diario de agua de descarga no turbinada, entre las 0:00 y las 24:00 horas del día anterior (DENOTU)
- Caudal promedio diario desviado desde otras fuentes al embalse, entre las 0:00 y las 24:00 horas del día anterior (DESVIA)
- Caudal natural o aporte total promedio diario de agua que llega al embalse, entre las 0:00 y las 24:00 horas del día anterior (CAUNAT)
- Caudal promedio diario influido por descargas desde otros ríos o descuentos hacia otras cuencas para otros usos, entre las 0:00 y las 24:00 horas del día anterior (CAUINF)

A continuación, se presenta una breve definición de las variables anteriores y se describen los acuerdos que tiene implementado el CNO, en los cuales se establecen algunos lineamientos para su estimación. Vale la pena mencionar que algunas de las definiciones que se presentan fueron extractadas parcialmente del informe final entregado por la Universidad Nacional, correspondiente al contrato descrito en el numeral 1.2.2 para el estudio de los desbalances.

Nivel del embalse: (NIVEL)

El nivel de embalse corresponde a la cota del nivel de agua en un momento dado en un embalse, a partir de un sistema de coordenadas específico. La determinación del nivel se lleva a cabo a partir de mediciones directas en el embalse. Para ello existen dos tipos de instrumentos dependiendo del método de registro; registro no continuo en el que el nivel se obtiene por medio de la observación manual del equipo de medición (regla o mira graduada) o registro continuo en el que el nivel es obtenido de manera permanente y automática por el equipo, puede almacenarse y transmitirse a sistemas de información de forma automática. Los equipos automáticos requieren de una mira o regla graduada, para calibración periódica de la medición del nivel, de acuerdo con los sistemas de coordenadas definidos para cada embalse.

Actualmente no existen acuerdos en el CNO que definan criterios para la medición de este parámetro.

Volumen total – Volumen útil – Nivel del embalse: (VOLUMEUT)

El volumen es una variable que sólo puede medirse de forma indirecta a partir de una función que relaciona esta variable con el nivel del embalse, para todo el rango de niveles de operación.

Para determinar la función entre los diferentes niveles de embalse y el volumen de agua almacenada hasta cada nivel, se realiza una batimetría del embalse. Para ello, se utiliza un sistema automatizado conformado por un GPS móvil diferencial y una ecosonda digital de tecnología multihaz que permiten calcular el volumen total de agua almacenada; esta información se complementa con levantamientos topográficos de la zona no inundada, utilizando sensores remotos como el caso de tecnología “Lidar”.

La determinación del volumen (Volumen total o Volumen útil), se hace en forma indirecta a partir de la medición del nivel en el embalse; obteniendo para cada nivel de interés, el valor del volumen con base en la curva Nivel – Volumen (de acuerdo con la batimetría oficial para el embalse).

Los lineamientos y requisitos que tiene establecido el sector eléctrico para la determinación de estos parámetros están definidos mediante el Acuerdo 1287 del 5 de marzo de 2020 *“Por el cual se aprueba el procedimiento para la realización de las mediciones de batimetría en los embalses de las plantas despachadas centralmente”*.

Caudal aportante al embalse: (CAUNAT - CAUINF - DESVIA)

Caudal es la cantidad de agua (medida en términos de volumen) que llega a un embalse, por unidad de tiempo. El caudal aportante corresponde a la cantidad total de agua que llega al embalse desde su cuenca de drenaje hasta el sitio de presa, en un lapso de tiempo determinado. Para el caso de los embalses del SIN, el caudal aportante se determina como el valor promedio en m³/s, durante un período de tiempo (caudal diario).

La medida precisa del caudal aportante a un embalse es difícil de obtener debido, entre otros factores, al gran tamaño de las cuencas, a la variación continua del caudal de las corrientes de agua a lo largo del tiempo, a los cambios naturales y antrópicos en las cuencas que varían las condiciones de las corrientes, lo que hace que las técnicas de medición deban ser diferentes para cada condición específica y debido también a la existencia de varias corrientes que llegan a los embalses, lo que no permite una única medición. Debido a lo anterior, la determinación del caudal aportante a un embalse se lleva a cabo mediante estimaciones, las cuales se basan en la medida del caudal en la corriente principal de la cuenca en un sitio localizado lo más cerca posible y antes de la llegada del río al embalse; el caudal medido debe luego extrapolarse para estimar el aporte de la cuenca entre el sitio de medición y el sitio de presa, pues en esta zona no es posible utilizar ninguna técnica de medición del caudal.

La técnica de medición del caudal comúnmente utilizada en la actualidad consiste en el empleo de estaciones hidrométricas a la entrada de los embalses. Esta es una técnica de medición indirecta, similar al caso de la cuantificación del volumen del embalse, que consiste en la determinación del nivel del agua en un sitio específico de un río y su asociación con un caudal, a través de una curva de calibración, conocida como curva de gasto (Nivel – Caudal), en el sitio de medición. La curva de gasto se construye mediante mediciones puntuales del caudal del río (Aforos) para diferentes niveles de agua. Cuando se dispone de varios aforos en diferentes rangos de niveles, se obtiene la curva de gasto, a partir de un ajuste estadístico.

Los aforos para obtener las curvas de gasto se realizan con diferentes equipos de uso común, no solo en el sector eléctrico sino por entidades como IDEAM en muchas de sus

estaciones (Correntómetros, perfiladores con tecnología doppler, etc.). Dichos aforos se deben realizar en épocas de aguas bajas (verano) y de aportes mayores (estación de lluvias) para obtener una curva de gasto en un rango representativo de niveles del agua en el río. Es importante tener en cuenta que, debido a grandes crecientes, por acción misma de la dinámica de los cauces, o por situaciones antrópicas, pueden presentarse cambios geomorfológicos en el sitio de la estación por lo cual periódicamente es necesario realizar algunos aforos de verificación, tanto en la estación de lluvias como durante el verano, que permitan chequear que la curva de gasto no haya tenido variaciones significativas.

Para determinar el caudal en un momento dado, se debe entonces medir el nivel de agua en el río y, a partir de la curva de gasto (Nivel-Caudal) se determina el caudal correspondiente. La determinación del nivel se hace de la misma manera como se hace para los embalses, a partir de equipos de registro no continuo (medición puntual) o registro continuo (medición permanente y automática). De esta manera, existen estaciones hidrométricas de medición no continua, en las que es necesaria la lectura manual del nivel de agua, y estaciones de medición continua, con sensores o equipos de medición de nivel automáticos y permanentes que permiten a su vez transmitir los datos a sistemas de almacenamiento y procesamiento de información.

Las estaciones hidrométricas permiten entonces, medir el caudal del río principal a la entrada de un embalse, el cual se promedia en un lapso de tiempo determinado (caudal promedio diario).

En la actualidad, no existe ningún acuerdo del CNO que determine criterios y lineamientos para la medición del caudal aportante a un embalse a nivel diario. Sin embargo, para la declaración de series mensuales oficiales, el CNO estableció el Acuerdo 917 del 1 de diciembre de 2016, *“Por el cual se aprueban los procedimientos para la oficialización, modificación, actualización y reporte de la información hidrológica de los ríos del SIN”*, con el propósito de reglamentar los procedimientos para la oficialización, modificación, actualización y reporte de la información hidrológica de los ríos del SIN,.

En algunos casos, cuando no se dispone de estaciones hidrométricas de medición del caudal en el río principal a la entrada de un embalse o cuando no se cuenta con técnicas confiables de extrapolación del caudal aportante desde un sitio de medición hasta el sitio de presa del embalse, se utiliza el balance de masas para estimar el caudal aportante. En esta técnica se determina, para un lapso de tiempo dado, el volumen total de agua que llega al embalse, a partir de la variación del volumen de agua almacenada en el embalse a la cual se le descuenta a su vez, la cantidad de agua en masa que sale por los diferentes sistemas de extracción, ambas durante el mismo lapso de tiempo. El volumen neto así obtenido se divide por el tiempo considerado y de esta manera se obtiene el caudal promedio de agua aportante al embalse para ese lapso.

Caudal turbinado: (DESTUR)

Es el caudal de agua utilizado para la generación de energía. Normalmente, puede ser obtenido a partir de medición directa o en algunos casos se estima a partir del factor de conversión y las mediciones de la energía eléctrica producida.

La medición directa se puede realizar a partir de estaciones hidrométricas localizadas en un sitio cercano aguas abajo del sitio de descarga del agua luego de la generación de

energía, o mediante equipos de medición localizados en algún lugar del sistema de conducción, entre el sitio de captación del agua y el de descarga. Para el caso de estaciones hidrométricas, las técnicas y características de la medición, son iguales a las descritas en la definición de caudal aportante al embalse, pero en este caso no es necesario realizar ninguna extrapolación, dado que las estaciones miden todo el caudal en el sitio de descarga, y lo pueden hacer de forma discontinua o continua dependiendo del tipo de equipo que mide el nivel de agua en el sitio de descarga donde se localiza la estación.

Para el caso de equipos localizados en algún sitio del sistema de conducción, existen diferentes tipos de sensores, pero la principal característica de la mayoría de estos es que son equipos que miden flujo a presión en tuberías. En muchos de estos casos se utilizan tecnologías de punta, con equipos de medición continua y automáticos, que permiten el almacenamiento y transmisión de los datos a sistemas de información.

En algunos casos, cuando no se dispone de equipos de medición directa del caudal turbinado, este parámetro se estima a partir de curvas que relacionan la energía generada con el caudal descargado por las máquinas y se conoce como la curva del factor de conversión. Dicha curva se construye a partir de la generación máxima de energía y midiendo el caudal promedio descargado en un lapso de tiempo determinado, considerando a su vez diferentes niveles de embalse con el fin de tener en cuenta la variación de la cabeza hidráulica. Esta técnica involucra una alta incertidumbre, principalmente porque puede haber una variación importante del caudal para una misma cantidad de energía generada y porque en la obtención de la curva del factor de conversión – Nivel de embalse, no se consideran rangos de generación diferentes a la generación máxima ni tampoco se tienen en cuenta las condiciones reales de operación de las plantas de generación, lo que genera imprecisiones importantes en la curva obtenida al igual que en el valor del caudal turbinado estimado.

Caudal vertido: (VERTIM)

El caudal vertido corresponde al flujo de agua que es extraído de un embalse a través de los vertederos y sistemas de alivio, generalmente durante crecientes. Debido a las características físicas de las estructuras de vertimiento, que generan flujos de agua altamente turbulentos y con grandes velocidades, es difícil realizar la medida directa de los caudales vertidos en dichas estructuras, por lo que usualmente este caudal es estimado a partir de ecuaciones teóricas que relacionan el caudal vertido con la altura de la lámina de agua, la cual es medida de la misma manera como se mide el nivel de embalse.

Cuando el vertedero posee estructuras de control de descarga, como es el caso de compuertas radiales, la estimación del caudal vertido se hace a partir de curvas teóricas de calibración que relacionan dicho caudal con el nivel del embalse y el porcentaje de apertura de la(s) compuerta(s).

De acuerdo con las características del vertedero, los sistemas de estimación del caudal vertido pueden tener en cuenta dos tipos de medición diferentes. Para los vertederos libres (sin compuertas) se requiere sólo la medida del nivel del embalse, la cual considera las mismas características explicadas previamente. Para el caso de vertederos con compuertas, se requiere además, la medición del porcentaje de apertura de la(s) compuerta(s); esta variable se puede medir en forma automática con diferentes tipos de sensores que registran dicha apertura, o mediante mediciones manuales que se establecen en el momento en el cual los operadores manipulan la(s) compuerta(s).

Descargas no turbinadas: (DENOTUR)

Esta variable generalmente corresponde a caudales descargados a través de compuertas intermedias o descargas de fondo. Las técnicas de instrumentación y estimación de esta variable son las mismas de los caudales vertidos o turbinados. Cuando se utilizan sistemas de descargas de fondo (válvulas tipo Howel-Bunger, por ejemplo), el caudal se estimada a partir de las curvas teóricas en función del nivel del embalse y la apertura de las compuertas o las válvulas.

En algunos casos y dependiendo de las características particulares del sistema de descarga, se pueden utilizar equipos de medición de flujo a presión similares a los utilizados en la medida del caudal turbinado, pero siempre y cuando el sistema tenga la configuración particular requerida por este tipo de instrumentación.

Tabla 1. Listado de Normatividad asociada

Fecha expedición	Norma	Título
13/07/1995	Resolución CREG 025 de 1995	Por la cual se establece el Código de Redes, como parte del Reglamento de Operación del Sistema Interconectado Nacional.
23/12/1997	Resolución CREG 235 de 1997	Por la cual se modifican las disposiciones contenidas en las Resoluciones CREG-025 de 1995 y CREG-215 de 1997, en lo referente a los plazos horarios establecidos para el reporte de información relacionada con el Despacho Económico Horario del sector eléctrico.
4/7/2019	Resolución CREG 060 de 2019	Por la cual se hacen modificaciones y adiciones transitorias al Reglamento de Operación para permitir la conexión y operación de plantas solares fotovoltaicas y eólicas en el SIN y se dictan otras disposiciones.
1/12/2016	Acuerdo 917 de 2016	Por el cual se aprueban los procedimientos para la oficialización, modificación, actualización y reporte de la información hidrológica de los ríos del SIN
05/03/2020	Acuerdo 1287	Por el cual se aprueba el procedimiento para la realización de las mediciones de batimetría en los embalses de las plantas despachadas centralmente
6/08/2014	Acuerdo 694	Por el cual se aprueba una modificación del protocolo para la estimación del factor de conversión de plantas hidráulicas.
2/12/2010	Acuerdo 512	Por el cual se ratifica la aprobación de los protocolos de pruebas o procedimientos para la estimación de las siguientes variables asociadas a Centrales Hidráulicas: Capacidad Efectiva Neta, Volumen Mínimo Técnico, Volumen Máximo Técnico, Volumen de Espera, Curva

Fecha expedición	Norma	Título
		Guía Mínima, Curva Guía Máxima, Arcos de Generación, Arcos de Descarga, Arcos de Bombeo, Demanda de Acueducto y Riego, Factor de Retorno de Acueducto y Riego, Factores de Serie Menor, Volumen Útil y Volumen Muerto y se actualizan las definiciones de los mismos.
31/05/2007	Acuerdo 396	Por el cual se aprueban los protocolos de pruebas o procedimientos para la estimación de los valores de algunas variables asociadas a Centrales de Generación

Fuente: Propia CNO marzo de 2020

1.2. Estudios CNO

1.2.1. INGFOCOL

La Comisión de Regulación de Energía y Gas celebró en diciembre de 2008 un contrato de consultoría con la empresa Ingfocol - Ingeniería y gestión de la información Ltda., que tuvo como objeto *“Revisar, analizar, diagnosticar y proponer mejoras a los métodos de medición, adquisición de la información hidrológica y modelación relativos a las series de caudales hidrológicos utilizadas en los procesos, cálculos y análisis en el SIN y que los agentes generadores con plantas hidroeléctricas bajo despacho centralizado, deben suministrar periódicamente al Consejo Nacional de operación –CNO- y a la CREG”*

El contrato tuvo una duración de 8 meses y se desarrolló en cuatro fases: la primera correspondió a la recolección de la información necesaria para la ejecución del proyecto, la segunda consistió en la revisión de los procesos de adquisición de datos que se llevan a cabo en la construcción de las series de afluentes a los embalses. En la tercera fase se llevó a cabo el diagnóstico de las series hidrometeorológicas y en la cuarta fase se realizó la revisión de la modelación y actualización hidrológica. Como resultado del estudio, el consultor hizo una descripción general de las recomendaciones establecidas por la OMM, y otros organismos de diferentes países, así como las características de las nuevas tecnologías utilizadas en hidrometría para los procesos de adquisición, transmisión y procesamiento de datos, aplicables a las empresas propietarias de centrales hidroeléctricas del SIN.

Como resultado del contrato de consultoría, se describió el estado de los procesos de adquisición, transmisión y manejo de la información hidrometeorológica aplicados por las empresas propietarias de las centrales hidroeléctricas, y para cada una de las empresas se efectuó una valoración de los procesos mencionados, teniendo en cuenta los referentes y estándares internacionales, el grado de aplicación de nuevas tecnologías, y la existencia

de documentación de soporte acerca de los sistemas e instalaciones y se hicieron las recomendaciones de mejora en los procesos de adquisición de datos.

Para el diagnóstico de las series hidrometeorológicas, se hizo el análisis de homogeneidad de la información de series reportadas (prueba Lilliefors para normalidad de una población, prueba de hipótesis para la media de dos muestras con varianzas desconocidas y diferentes, prueba de hipótesis para la varianza de dos muestras con varianzas desconocidas y diferentes). Como resultado del análisis se generaron conclusiones para cada serie analizada (43 series). En la cuarta y última fase de la consultoría, y para hacer el diagnóstico de la modelación que se realiza en cada una de las centrales hidroenergéticas para el cálculo de las series de caudales naturales afluentes a los embalses, se definieron dos aspectos de la calidad de la información hidrometeorológica de las afluencias a los embalses hidroeléctricos del SIN: 1) calidad metrológica y 2) calidad de la serie temporal conformada por los datos registrados en el punto de monitoreo analizado, se hizo la caracterización de los modelos bajo una metodología estandarizada, se hizo un análisis de incertidumbre de estos y se generaron observaciones y recomendaciones para cada uno de los modelos analizados.

Finalmente, el consultor Ingfocol hizo recomendaciones generales y particulares para el cálculo y mejoramiento de las series de aportes a los embalses del SIN, que sirvieron de base para el plan de trabajo acometido desde el año 2009 por los agentes generadores hidráulicos y coordinado por el Subcomité Hidrológico y de Plantas Hidráulicas del Consejo Nacional de Operación - CNO, de análisis e implementación de las recomendaciones que se consideraron técnicamente viables.

Como resultado del plan de trabajo se tiene el siguiente balance de implementación de las recomendaciones del estudio de Ingfocol: (a noviembre de 2016):

Tabla 2. INGFOCOL

SUBCOMITÉ HIDROLÓGICO							
RESUMEN ATENCIÓN DE RECOMENDACIONES INGFOCOL - MARZO 2015							
AGENTE	TOTAL RECOMENDACIONES	NIVEL DE CUMPLIMIENTO					OBSERVACIONES
		SI	NO ATENDIDA AUN	EN EJECUCIÓN	NO SE IMPLEMENTARÁ (VER OBSERV)	ATENCIÓN TRAVÉS DE OTRA MEDIDA	
CHEC	16	12	0	0	4	0	1) Dificultad técnica en el sitio por el represamiento aguas abajo que imposibilitaba el montaje de la estación y estimar afluencias laterales al embalse San Francisco (no son representativas) 2) El flujo es en canales recubiertos no hay problemas de filtración. No se requieren estudios de pérdidas 3) Afluencias laterales a San Francisco no representativas, no se hace estudio. 4) Serie Faguacampoalegre no se requiere reconstruir porque la metodología actual de medición en la estación insula son confiables.
	% de atención	75,0%	0,0%	0,0%	25,0%	0,0%	
CHIVOR	5	3	0	1	1	0	No es viable la construcción de una nueva estación sobre el río Rucío ya que la cuenca tiene un muy alto aporte de sedimentos en la zona ocasionados por la explotación minera a lo largo de la cuenca, y por ende problemas de inestabilidad en la sección de aforo. Debido a esta situación, se recurre al cálculo de aportes partir de los caudales de la estación Río Negro – La Gloria.
	% de atención	60,0%	0,0%	20,0%	20,0%	0,0%	

EMGESA	43	10	0	15	16	2	Recomendaciones no atendidas: - Instalación estaciones propias en algunos sitios: Otras entidades ya cuentan con estaciones automáticas en los sitios requeridos. - Instalación instrumentos adicionales de nivel en los embalses: No es práctico ni viable realizar varias mediciones simultáneas del nivel del embalse. - Medición caudal descargado con estación o estructura hidráulica: No es viable técnicamente y la incertidumbre de esta variables es marginal con la metodología vigente. - Medición caudal turbinado Guavio: No es viable técnicamente.
	% de atención	23,3%	0,0%	34,9%	37,2%	4,7%	Recomendaciones que serán atendidas a través de otra medida: - Hacer censo de usuarios de la cuenca: Se estimará la demanda potencial a partir de información secundaria. Esta información será de referencia.
EPM	26	13	0	0	3	10	*Recomendación no atendida en el sentido estrictamente solicitado (atendida a través de otra medida): Instalación de instrumentos adicionales para el registro de nivel
	% de atención	50,0%	0,0%	0,0%	11,5%	38,5%	EPM cuenta con dos sensores de nivel en cada embalse y adicionalmente se realiza semestralmente un muestreo cada segundo durante 10 minutos, para verificar la desviación según los estándares de aseguramiento metrológico para la variable nivel, garantizando con ello una medida confiable. Adicionalmente se acordó en Subcomité que la medida de nivel en la captación es el sitio más apropiado porque mide la cabeza hidráulica directamente
EPSA	16	12	0	3	0	1	No se atiende la recomendación de equipos de medición de nivel dado que estos no son de precisión menor o igual a 0.005 m
	% de atención	75,0%	0,0%	18,8%	0,0%	6,3%	
ISAGEN	5	1	1	2	1	0	Recomendación no atendida: instalación de instrumentos adicionales de nivel, en diversos puntos del embalse
	% de atención	20,0%	20,0%	40,0%	20,0%	0,0%	ISAGEN cuenta con tres (3) instrumentos de medición del nivel del embalse, cada uno con diferente método de transmisión y a los cuales se les hace un constante seguimiento y calibración. ISAGEN considera que es suficiente con estos instrumentos para garantizar una medición confiable
URRA	6	6	0	0	0	0	
	% de atención	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	
TOTAL	117	57	1	21	25	13	

1.2.2. Contrato CNO – UNAL

A finales del año 2018, el Consejo Nacional de Operación celebró un contrato con la Universidad Nacional cuyo objeto fue la estimación de los rangos de las incertidumbres asociadas a los balances energéticos del Sistema Interconectado Nacional. Dentro de los alcances del objeto del contrato se previó el siguiente: Revisar y proponer mejoras en los métodos de cuantificación del recurso hídrico y en el reporte y actualización de la información hidrológica operativa diaria.

La Universidad hizo un diagnóstico de la situación actual del monitoreo hídrico en las centrales del SIN, que se apoyó en la información diligenciada por los operadores a través de encuestas y en la información base recibida para el proyecto. Se propusieron ajustes generales que aplican para todos los sistemas de monitoreo actual de las centrales, que incluyen generalidades acerca de redes de monitoreo hídrico, su instrumentación y estándares para las mediciones, así como recomendaciones para el procesamiento, reporte, verificación y almacenamiento de la información. Finalmente se propusieron ajustes específicos por central definidos de acuerdo con las fortalezas y debilidades identificadas desde la información diligenciada en las encuestas.

Las conclusiones generales de la Universidad sobre el alcance del objeto mencionado son:

“Se presentaron una serie de propuestas para mejorar el monitoreo actual del recurso hídrico en las centrales del SIN. Dichas propuestas fueron orientadas hacia la reducción de fuentes de error en el procedimiento de cuantificación y reporte de cada variable por parte de los operadores y en el manejo óptimo y eficiente de la información recibida diariamente por parte del CND.

Se describieron aspectos a tener en cuenta en la implementación de las redes de monitoreo. Se resumen los estándares nacionales e internacionales para la instrumentación y ejecución de las mediciones, incluyendo normas ISO y agencias internacionales cuyos estándares son aceptados mundialmente para las actividades específicas de medición.

La conclusión principal es que sólo a partir de mediciones confiables es posible establecer qué variables son importantes o no y cuáles son las que aportan mayor incertidumbre en el balance de energía – desbalance. Por esta razón, se considera que es indispensable medir y documentar de manera clara y precisa cada procedimiento de medición, procesamiento y almacenamiento posterior de la información cuantificada para cada variable.”

2 INFORMACIÓN GENERAL

2.1. Base de información actual de variables hídricas

2.1.1. Circular CNO 032 del 20 de junio de 2019

Una vez finalizado el contrato de desbalances celebrado entre el CNO y la UNAL en junio de 2019, el CNO realizó un levantamiento de información por medio de la Circular CNO 032.

La Circular tuvo como objetivo realizar un sondeo de información disponible para la implementación de las recomendaciones de la Universidad y un inventario de los métodos de medida y estimación de las variables reportadas al CND.

De forma general, la circular solicitaba para cada recurso indicar:

- Topología y elementos hidráulicos que la componen
- Variables asociadas a la topología y/o reportadas al CND
- Método de medición y/o estimación de cada variable
- Incertidumbre asociada al dato reportado

- Destino de las descargas no turbinadas en caso de tenerlas
- Extracciones del recurso que se dan aguas arriba del punto de captación

Se adjunta archivo con el Consolidado Circular 032 SURER, en el cual se resumen los métodos de medición y/o estimación de las variables hidrológicas reportadas al CND.

2.2. Usos actuales de la información de variables hídricas para el planeamiento y la operación del Sistema

En la siguiente tabla se presentan los diferentes procesos del CND y ASIC que utilizan información hidrológica reportada y/o suministrada por los agentes. Dentro de esta información se encuentran las variables reportadas de forma operativa y las series y parámetros derivados de dicha información base.

Tabla 3. Usos Información hidrológica

Proceso	Variable	Actividad	Normatividad asociada	Frecuencia de uso
Liquidación	Nivel del embalse Volumen útil Nivel ENFICC probabilístico	Estimar la cantidad de energía vendida y embalsada (EVE).	Res CREG 026 de 2014	Diario (ante la activación del estatuto de riesgo de desabastecimiento del sistema)
	Nivel del Embalse Nivel Probabilístico de Vertimiento Factor de conversión	Determinar el precio de reconciliación positiva de las plantas hidráulicas.	Res CREG 034 de 2001	Diario
Análisis de la información operativa y del mercado	Volumen Útil Capacidad Útil Nivel ENFICC probabilístico Volumen Máximo Técnico Vertimientos Aportes diarios	Informes de operación - IDO Visualización en portales de XM Analítica de datos	Res CREG 080 de 1999 Ley 142 de 1994 Res MME 8 0658 de 2001	Diario
Definición de la condición del sistema	HSIN - Aportes naturales operativos EDH - Energía disponible hidráulica	Determinar la condición del sistema de acuerdo con los niveles de alerta establecidos por la regulación	Res CREG 026 de 2014	Mensual Semanal (bajo estado de vigilancia del sistema)
Despacho Económico	Volumen útil Nivel ENFICC probabilístico	Cálculo de las transacciones internacionales de electricidad	Res CREG 080 de 2007, modificado por la Res CREG 152 de 2011	Diario
	Volumen útil Nivel ENFICC probabilístico Nivel Probabilístico de Vertimiento	Compra de EVE (Energía vendida y Embalsada)	Res CREG 026 de 2014	Diario (ante la activación del estatuto de riesgo de desabastecimiento del sistema)
	Volumen útil Nivel ENFICC probabilístico	Entrega de EVE (Energía vendida y Embalsada)	Res CREG 026 de 2014	Diario (ante la activación del estatuto de riesgo de desabastecimiento del sistema)
Planeamiento operativo energético	Aportes (Series mensuales y operativas) Volumen mínimo técnico Volumen máximo técnico Filtraciones (Caudal ambiental y otros usos) Curva de operación de embalse (guía min y max) FC	Planear la operación de los recursos energéticos hidráulicos, térmicos, solares fotovoltaicos y eólicos para la producción de energía eléctrica	Res CREG 025 de 1995	Semanal Mensual
Análisis Energético (AE)	Curva de FC vs %Vol útil Nivel ENFICC probabilístico (AE)	Análisis energético y de potencia del Consejo Nacional de Operación	Res CREG 026 de 2014	Mensual Semanal (bajo estado de vigilancia del sistema)
Cálculo de los mínimos operativos	Aportes (Series mensuales y operativas) – Hidrología de distintos PSS Volumen útil Volumen mínimo técnico Volumen máximo técnico Filtraciones (Caudal ambiental y otros usos) Curva de operación de embalse (guía min y max) FC medio	Determinar la menor hidrología, con la misma probabilidad de ser superada para todos los ríos, con la cual el sistema no presenta racionamientos ni atrapamientos de agua en los embalses durante todo un año.	Res CREG 025 de 1995	Semestral
Cargo por confiabilidad	Aportes (Series mensuales y operativas) Volumen útil Volumen mínimo técnico Volumen máximo técnico	Estimación de la ENFICC para asignación de OEF	Res 071 de 2006	Cada que hay asignación de OEF
Cálculo de la EDH Energía disponible hidráulica	Filtraciones (Caudal ambiental y otros usos) Curva de operación de embalse (guía min y max) FC medio	Cálculo de la energía disponible hidráulica para el cálculo de la condición del sistema	Res CREG 026 de 2014	Mensual y Semanal (bajo estado de vigilancia del sistema)
Garantías	Nivel ENFICC probabilístico	Determinar eventos de incumplimiento de la OEF vigente para ejecución de garantías	Res CREG 061 de 2007	Diario bajo condiciones críticas del sistema
Corto plazo	Volumen útil Aportes	Identificar requerimientos de generación del sistema para la semana siguiente (N+1) .con base en el modelo de despacho hidrotérmico del corto plazo	Res CREG 025 de 1995	Semanal

3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Utilizando la herramienta de arboles de problemas se definen en este numeral, las causas y los efectos de los problemas identificados con la medición, estimación y reporte de variables operativas diarias. Inicialmente se presentan las situaciones que se consideran transversales a todas las variables y posteriormente se presenta la descripción de los problemas asociados con las variables en particular.

3.1. Árboles de problemas transversales a todas las variables.

A continuación, se presentan los árboles de problema que son comunes a todas las variables analizadas.

3.1.1. Problema 1: Falta de uniformidad en los criterios mínimos de medición de las variables (frecuencia, tipo de medición, método entre otros de acuerdo con la variable).

Los agentes pueden tener diferentes criterios, métodos y formas de medir sus variables hidrometeorológicas por lo que no siempre existe uniformidad en cuanto a la frecuencia o los métodos que deben aplicarse para la toma de datos o para la estimación de las variables. El sector eléctrico requiere de un reglamento de medición que defina los diferentes métodos que pueden emplearse para medir cada variable, según las condiciones, y la incertidumbre máxima admisible a cada una de ellas, de acuerdo con los mejores estándares internacionales.

En la Figura 1 se presenta el árbol del problema con las principales causas y sus respectivas consecuencias.

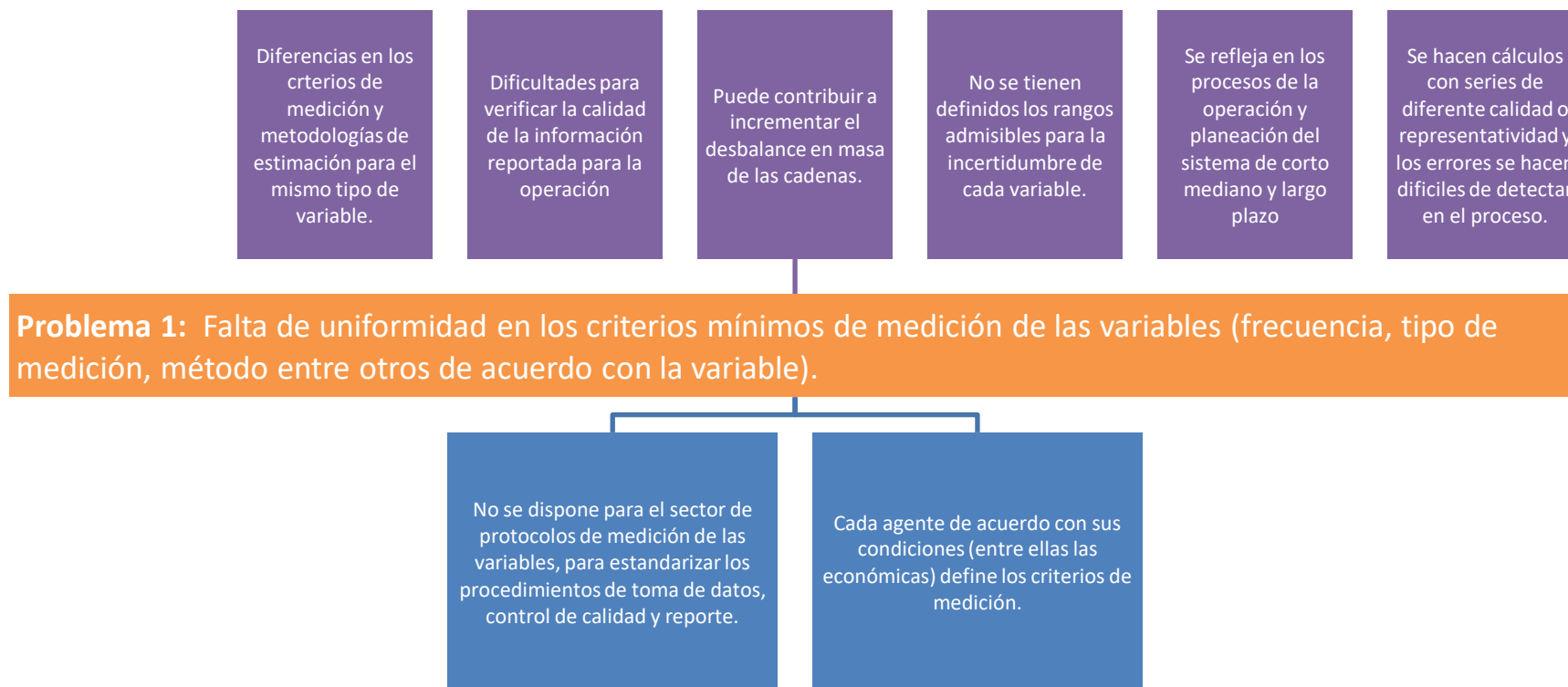


Figura 1 Árbol del problema 1 transversal a todas las variables

Este problema tiene asociadas diferentes causas:

- **No se dispone para el sector de protocolos de medición de las variables, para estandarizar los procedimientos de toma de datos, control de calidad y reporte.**

Si bien el reglamento de operación especifica las variables operativas que deben ser reportadas al CND de manera diaria, para las mismas no se cuenta con estándares de medición que controlen su calidad. Estos estándares deberían poder especificar los procedimientos que garanticen la calidad de las medidas, así como las metodologías de estimación permitidas de acuerdo con la variable de interés y los casos particulares que pueden presentarse.

Ante la ausencia de un reglamento de medición, en la actualidad cada agente define de manera interna los procedimientos de medición y estimación de las diferentes variables de interés para su embalse. Esta situación, donde los procedimientos de cada agente pueden seguir un estándar propio, lleva a que no se tenga un control que asegure la calidad de los datos para la operación.

Por ejemplo, cuando se reportan aportes a un embalse, no es clara la incertidumbre asociada a estos, ya que el valor de dichos aportes puede ser obtenido a partir de mediciones directas, indirectas o estimaciones como el balance hídrico, y esto depende de lo que cada agente haya definido de manera interna y de la información y recursos que tenga disponibles. El reglamento deberá definir los casos en los cuales deben medirse los aportes, las metodologías de estimación que pueden usarse, en qué condiciones es permitido realizar un balance, así como los procedimientos necesarios para garantizar la calidad de estos, la frecuencia de actualización y la resolución de las mediciones y reporte, considerando la variabilidad e incertidumbre de las fuentes de generación del SIN.

- **Cada agente de acuerdo con sus condiciones (entre ellas las económicas) define los criterios de medición.**

Ante la ausencia de un reglamento de medición, cada agente define de manera independiente la forma de medir o estimar sus variables hídricas, así como los procedimientos y metodologías para ello, dependiendo de sus posibilidades económicas, las condiciones de acceso al sitio, la seguridad tanto de las personas como de los equipos, las condiciones hidráulicas, entre otras (que se han mencionado a lo largo del documento).

Al igual que en la causa anterior, esto lleva a no poder asegurar la calidad de todas las variables que se reportan al CND, ya que no siempre se cuenta con estándares de medición que tengan en cuenta las diferentes situaciones que se puedan presentar y que especifiquen las acciones que se deben tomar en cada caso.

Las siguientes son las consecuencias de este problema:

- **Diferencias en los criterios de medición y metodologías de estimación para el mismo tipo de variable.** Por ejemplo: diferente representatividad de la variable al agregarla a escala diaria y mensual.
- **Dificultades para verificar la calidad de la información reportada para la operación.** Dado que no existe un reglamento de medición, no hay un estándar de calidad contra el cual verificar la calidad de la información.
- **Puede contribuir a incrementar el desbalance en masa de las cadenas.** En cadenas de embalses de diferentes agentes, si la información proviene de fuentes y resoluciones diferentes, se hace difícil identificar dónde deben realizarse las acciones de mejora de los problemas de medición. El no tener cuantificada la incertidumbre de las variables medidas puede llevar a incrementar los desbalances en los diferentes recursos y cadenas del SIN.
- **No se tienen definidos los rangos admisibles para la incertidumbre de cada variable.** Ante la ausencia de un reglamento de medición, la incertidumbre asociada a las variables que se reportan a la operación no se tiene estimada ni controlada. Dado que no se cuenta con procedimientos de estimación y medición definidos por un reglamento, no se tiene certeza de la calidad del dato y del error de medición asociado al mismo.
- **Se refleja en los procesos de la operación y planeación del sistema de corto mediano y largo plazo.** Los estudios y las decisiones que se toman en los procesos de la planeación y operación del sistema en sus diferentes horizontes de análisis, tienen alta dependencia de la información reportada por los agentes, por lo tanto estos deben ser soportados en información obtenida con base en las mejores prácticas de medición y estimación que garanticen su calidad.
- **Se hacen cálculos con series de diferente calidad o representatividad y los errores se hacen difíciles de detectar en el proceso.** Las consecuencias anteriores se reflejan en todos los cálculos operativos diarios o de largo plazo porque se hacen estimaciones con series de diferente calidad o representatividad y los errores se hacen difíciles de detectar en el proceso.

3.1.2. Problema 2: No se tienen definidos los rangos de la incertidumbre de las variables operativas (Aportes, Nivel, Volúmen, Vertimientos, Descargas no Turbinadas, Caudales Turbinados).

Según la Organización Meteorológica Mundial en su documento (Guía de prácticas hidrológicas Volumen I Hidrología – de la medición a la información hidrológica) la incertidumbre se define como “*el intervalo de valores en el que cabría esperar encontrar el*

valor verdadero de una magnitud medida, con un valor de probabilidad (o de nivel de confianza) dado. La incertidumbre y el nivel de confianza están estrechamente relacionados; cuanto mayor sea la incertidumbre, mayor será el grado de confianza en que el valor verdadero se encuentre en el rango de valores señalado”.

Todas las mediciones, y por ende las variables operativas tienen inherente una incertidumbre. Sin embargo, al no contar con un reglamento de medición, actualmente no se tienen definidos los rangos de la incertidumbre asociada de cada una de las variables operativas. En la Figura 2 se presentan las causas y consecuencias identificadas para este problema.

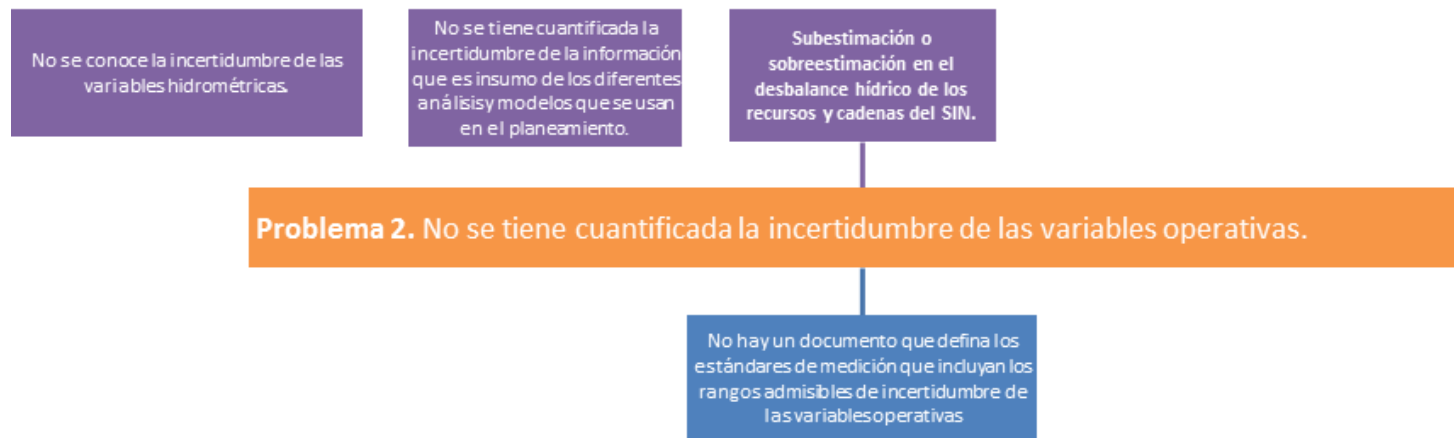


Figura 2 Árbol de problema 2 transversal a todas las variables

Este problema tiene asociada esta causa:

- **No hay un documento que defina los estándares de medición que incluyan los rangos admisibles de incertidumbre de las variables operativas.** Debido a que no se cuenta con un reglamento de medición, actualmente no se tienen definidos los rangos de la incertidumbre de las variables operativas.

Las consecuencias de este problema son las siguientes:

- **No se conoce la incertidumbre de las variables hidrométricas.** La medición de variables hidrométricas como el nivel y el volumen, tienen implícita una incertidumbre o margen de error. Se requiere un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales, que permita de acuerdo con la medición, cuantificar los rangos de incertidumbre admisibles para cada variable, con el fin de garantizar la calidad y confiabilidad de los datos hidrológicos para los análisis y modelos de planeamiento.
- **No se tiene cuantificada la incertidumbre de la información que es insumo de los diferentes análisis y modelos que se usan en el planeamiento.** Se requiere un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales, y que permita de acuerdo con la medición, cuantificar los rangos de incertidumbre admisibles para cada variable, con el fin de garantizar la calidad y confiabilidad de los datos hidrológicos para los análisis y modelos de planeamiento.
- **Subestimación o sobreestimación en el desbalance hídrico de los recursos y cadenas del SIN.** Al no tener definida la incertidumbre en la medición de las variables que están incluidas en la ecuación de balance, no se conoce el error asociado al valor del desbalance.

3.1.3. Problema 3: Deficiencias en los sistemas y protocolos de almacenamiento, reporte y respaldo de la información operativa de las plantas despachadas centralmente.

No se cuenta con protocolos para el almacenamiento, reporte y respaldo de la información operativa. Además, los sistemas de medición, reporte y respaldo pueden ser diferentes para cada uno de los agentes, pues su selección se realiza teniendo en cuenta diferentes condiciones entre ellas las económicas (asociadas a los costos de adquisición, mantenimiento) y las facilidades de uso. En algunos casos incluso pueden llegar a tenerse varios sistemas que podrían conllevar a tener dificultades en el rastreo de la información histórica.

En la Figura 3 se presenta el árbol del problema con las principales causas y sus respectivas consecuencias.

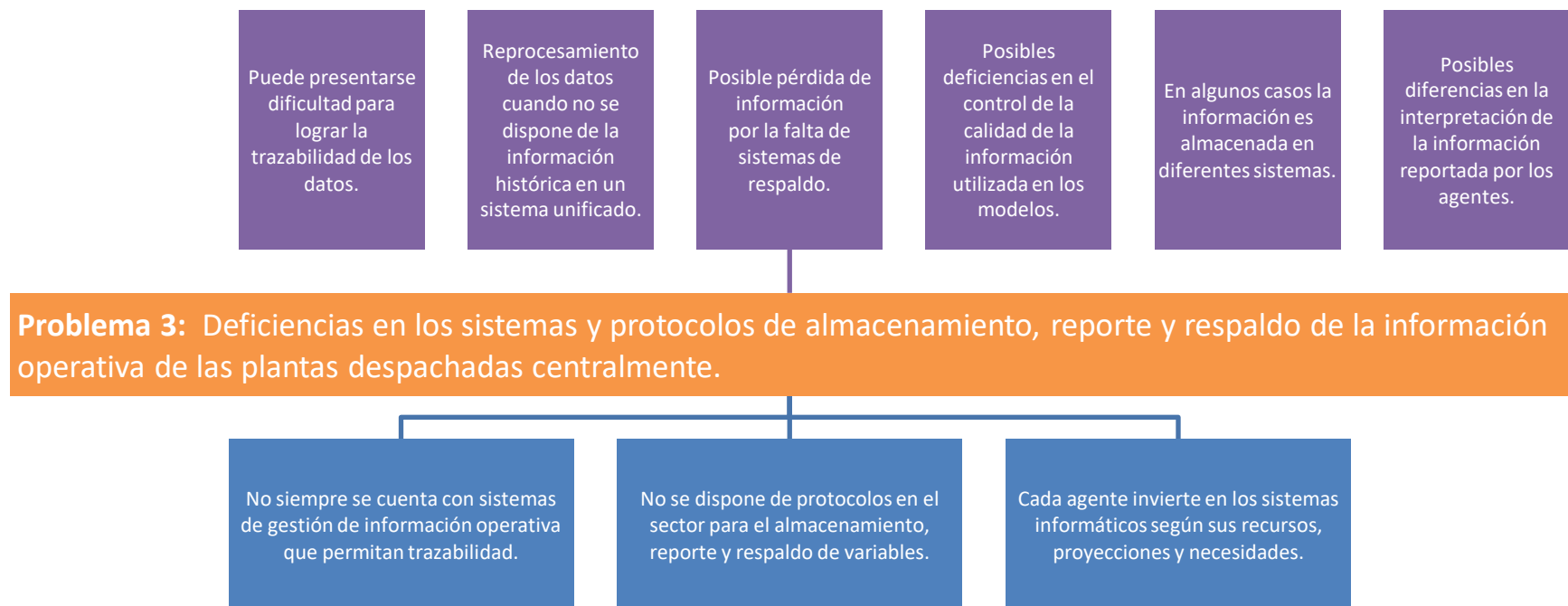


Figura 3 Árbol del problema 3 transversal a todas las variables

Este problema tiene asociadas diferentes causas:

- **No siempre se cuenta con sistemas de gestión de información operativa que permitan trazabilidad.** Debido a la cantidad de variables que inciden en el cálculo del caudal turbinado a través de métodos indirectos, es importante contar con un sistema de registro de metadatos que permita identificar las características asociadas a la definición de la variable.
- **No se dispone de protocolos en el sector para el almacenamiento, reporte y respaldo de variables.**
- **Cada agente invierte en los sistemas informáticos según sus recursos, proyecciones y necesidades.**

Las siguientes son las consecuencias de este problema:

- **Puede presentarse dificultad para lograr la trazabilidad de los datos.** La ausencia de protocolos de almacenamiento podría verse reflejada en lo difícil que resulta en algunas ocasiones rastrear y analizar la información histórica. Así también las deficiencias en los sistemas de almacenamiento pueden implicar que sea necesario un mayor tiempo para el proceso de revisión de la información.
- **Reprocesamiento de los datos cuando no se dispone de la información histórica en un sistema unificado.** Cuando no se dispone de un sistema unificado que contenga la información histórica y los archivos fuente puede ser necesario el reprocesamiento de información.
- **Posible pérdida de información por la falta de sistemas de respaldo.** La falta de un sistema de respaldo puede conllevar a la posible pérdida de información o alteración de ésta, por ejemplo, cuando se realizan actualizaciones tecnológicas.
- **Posibles deficiencias en el control de la calidad de la información utilizada en los modelos.**
- **En algunos casos la información es almacenada en diferentes sistemas.** Debido a que no se tienen protocolos de almacenamientos la información puede manejarse en diferentes bases de datos, como por ejemplo en Excel, por fuera de los sistemas de almacenamiento principales, lo cual puede conllevar a que la trazabilidad de la información histórica sea más dispendiosa. Esta situación es más usual que se presente para el manejo de información secundaria (niveles de río y precipitaciones en estaciones de respaldo).
- **Posibles diferencias en la interpretación de la información reportada por los agentes. Incompatibilidad con los sistemas entre todos los generadores.** La diferencia en la interpretación que puede dar el operador del sistema a la información operativa de los agentes podría presentarse básicamente por la falta o ambigüedad de las definiciones de algunas

variables reportadas, como por ejemplo en las descargas no turbinadas. Dicha situación está asociada básicamente con la falta de protocolos para el reporte de información. Dicha situación puede conllevar además a que se presenten incompatibilidades con los sistemas entre todos los generadores.

3.2. Árboles de problemas asociados a la variable aportes a un embalse.

Como se indicó anteriormente, el aporte a un embalse es la cantidad total de agua que ingresa a este, y corresponde al caudal de los diferentes ríos y quebradas afluentes al embalse, la escorrentía subsuperficial y el agua que por filtración y precipitación llega al espejo de agua.

La determinación del aporte se realiza a partir de la medición del caudal en los ríos de mayor importancia y la estimación de las demás variables no medidas, debido a las limitaciones técnicas.

A continuación, se describen las principales problemáticas relacionadas con la medición y estimación de los aportes, las diferentes causas que originan dichos problemas y las posibles consecuencias de estos.

Es importante notar que para cada uno de los árboles de la variable aportes se tienen consecuencias importantes para la planeación y operación del sistema, las cuales son:

- **Subestimación o sobreestimación de la energía afluente al sistema.** Como consecuencia general de las diferentes problemáticas de la variable aportes, se puede presentar el riesgo de tener un sesgo en las señales entregadas al sector en el proceso de planeamiento operativo indicativo, ya que el modelo de planeamiento en su modo estocástico utiliza metodologías de generación de series sintéticas de caudales, los cuales son altamente dependientes de las condiciones antecedentes dadas por los caudales reportados para los últimos periodos. Esta situación puede llevar a señales erróneas en los procesos de planeamiento de corto, mediano y largo plazo.
- **Errores en los informes de seguimiento de la situación del sistema y el estado de las variables energéticas:** Los datos de aportes reportados sin un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales que aseguren su calidad, pueden generar errores en diferentes informes de seguimiento de la situación del sistema. Aunque actualmente la información puede ser corregida de forma posterior, no existe un procedimiento que permita garantizar que hubo una mejora en la información. Adicionalmente, existe el riesgo de entregar una señal inoportuna e inadecuada a los diferentes actores del sector.

- **Subestimación o sobreestimación en el desbalance hídrico de los recursos y cadenas del SIN.** Cuando no se pueden medir los aportes de forma directa y estos se estiman por algún método indirecto, la incertidumbre en la medición de la variable es mayor y esta aporta a su vez al error en la ecuación del balance de masa.

3.2.1. Problema 1: Limitaciones en el uso de mediciones directas para la estimación de los aportes al embalse.

Como se indicó anteriormente, para la estimación de los caudales, en la mayoría de los casos se cuenta con una estación que permite el registro permanente de niveles del agua en el sitio y una curva de calibración de dicha estación. Sin embargo, en algunos casos a pesar de contar con mediciones directas de niveles en las corrientes, el uso de éstas para estimar los aportes a los embalses no necesariamente corresponde al mejor método, puesto que en la adquisición de dicha información se pueden presentar dificultades que conllevan a que ésta no sea la más confiable, como cambios de las características hidráulicas de los ríos, incertidumbre en la extrapolación de las curvas de calibración y sus posibles cambios en el tiempo, dificultades que se presentan en la realización de los aforos, entre otras.

En la Figura 4 se presenta el árbol del problema con las principales causas que limitan el uso de mediciones directas para la estimación de los aportes al embalse, y sus respectivas consecuencias.

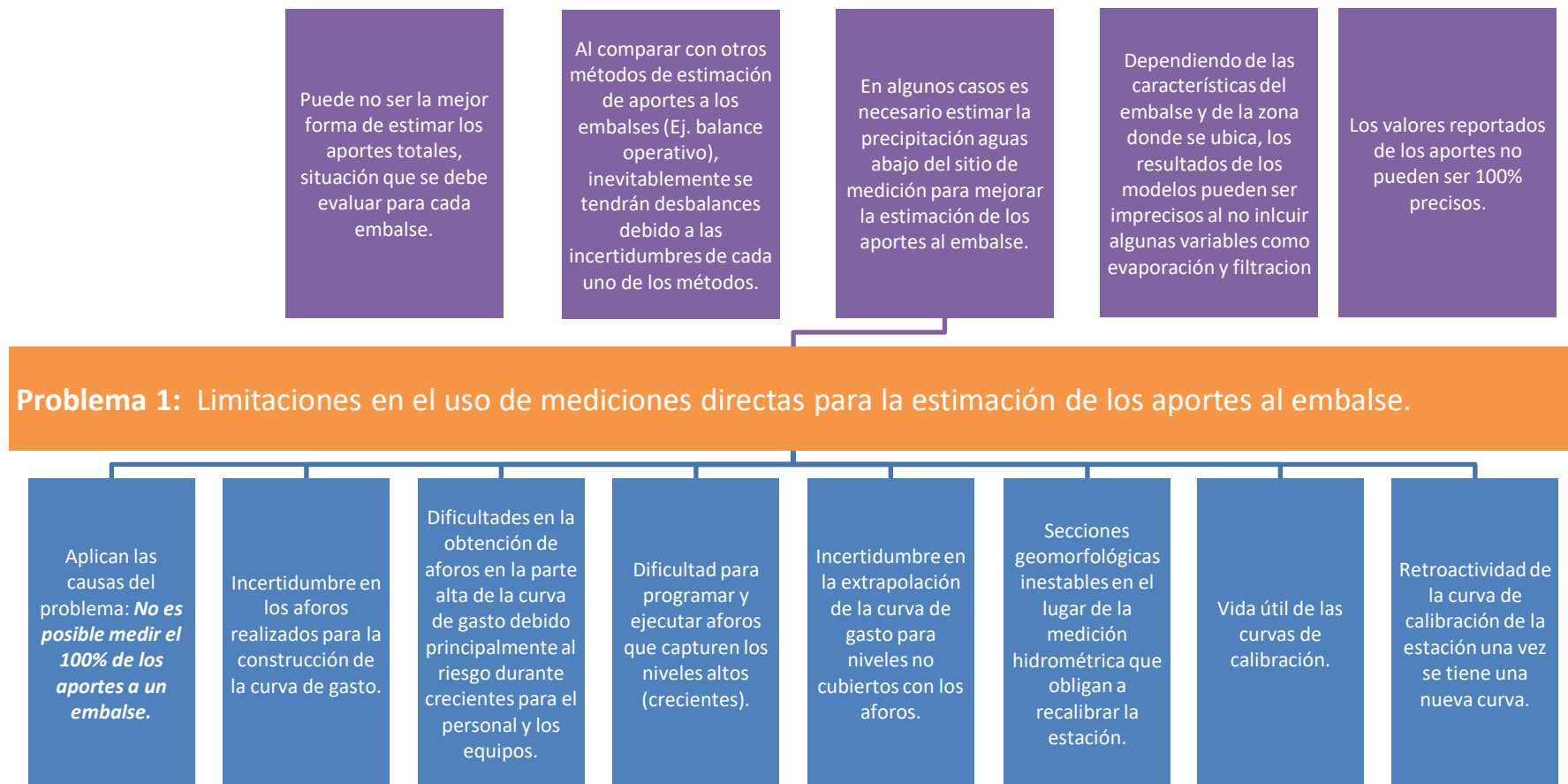


Figura 4 Árbol de problema 1 para la variable aportes

Las principales causas identificadas por las cuales se limita el uso de mediciones directas para la estimación de los aportes al embalse están relacionadas con los aforos, las curvas de calibración y el sitio donde se ubica la estación. A continuación, se describen con mayor detalle dichas causas:

- **Aplican todas las causas del Problema “No es posible medir el 100 % de los aportes a un embalse”.** Teniendo en cuenta que todas las causas identificadas para dicho problema están relacionadas con las dificultades para medir algunas variables, ya sea por razones hidráulicas, geomorfológicas o tecnológicas, no se contaría con toda la información medida necesaria para estimar los aportes totales al embalse.
- **Incertidumbre en los aforos realizados para la construcción de la curva de gasto.** En relación con los aforos estos involucran varias limitaciones asociadas a las incertidumbres de los instrumentos de medida, a errores humanos, al método del aforo y a los cambios geomorfológicos naturales y antrópicos en los ríos, que modifican la sección transversal donde se ubica la estación.
- **Dificultades en la obtención de aforos en la parte alta de la curva de gasto debido principalmente al riesgo durante crecientes para el personal y los equipos.** No es seguro, ni técnicamente viable realizar aforos en niveles muy altos de los ríos para tener mejores curvas de gasto, porque aunque el nivel se puede medir o estimar a partir de unas huellas de las crecientes, existen dificultades en la realización de aforos para caudales altos, debido al riesgo durante crecientes para el personal y los equipos, y porque durante las crecientes los cambios del nivel de agua pueden ser súbitos, lo que no permite una medición confiable, dado que el aforo exige que durante su realización el nivel no tenga cambios abruptos y que las líneas de corriente y la velocidad del flujo correspondan a un flujo uniforme. Por lo anterior la curva de gastos debe ser extrapolada a niveles máximos, a partir de técnicas hidráulicas indirectas para determinar el caudal en varios puntos midiendo el área y estimando la velocidad en cada punto y utilizando varios métodos de extrapolación para finalmente seleccionar uno con algún criterio hidráulico e hidrológico.

Otra limitación para el aforo de caudales en la parte alta de la curva consiste en que en algunos casos la sección transversal no es lo suficientemente encañonada (ver ejemplo en la Figura 5) y por lo tanto durante crecientes se presentan desbordamientos y el área inundada se extiende mucho, lo que dificulta su medición y por lo tanto la estimación del caudal para la región inundada de la sección transversal, lo cual no permite lograr una buena medición y/o extrapolación.



Figura 5 Sección transversal

- **Dificultad para programar y ejecutar aforos que capturen los niveles altos (crecientes).** La variabilidad climática genera períodos de bajos aportes en varios meses del año y en épocas en las que normalmente se presentan condiciones de invierno como ocurre con el fenómeno “El Niño”; esta situación dificulta obtener aforos en niveles altos, pues a pesar de que se programan campañas en épocas de invierno, en el momento de realizar los aforos no siempre se logran caudales en los niveles más altos correspondientes a grandes crecientes.
- **Incertidumbre en la extrapolación de la curva de gasto para niveles no cubiertos con los aforos.** Es necesario tener presente que siempre se deberán realizar extrapolaciones de las curvas de calibración tanto para niveles altos como para niveles muy bajos, por varias razones como las siguientes: no es técnicamente viable realizar aforos en niveles muy bajos o muy altos de los ríos (para los cuales tampoco es seguro), durante el tiempo de operación de la estación es posible que no se haya presentado todo el rango de caudales posibles y además pudiendo haberse presentado, no siempre es posible hacerlos coincidir con las visitas de campo para realizar aforos, pues en algunos casos estos se producen en horas nocturnas.
- **Secciones geomorfológicas inestables en lugar de la medición hidrométrica que obligan a recalibrar la estación.** Los procesos de socavación y agradación, alteran la forma de las secciones transversales y con ello, cambia la curva de gasto de la estación (relación nivel - caudal) lo que obliga a realizar nuevos aforos en todo el rango de niveles para obtener una nueva curva (ver siguiente causa).
- **Vida útil de las curvas de calibración.** Las curvas de calibración tienen una vida útil, es decir, la relación de nivel - caudal puede variar en el tiempo debido a la dinámica de las corrientes naturales que cambian las condiciones hidráulicas y morfológicas de los cauces o también por actividades antrópicas (socavación y depósitos de sedimentos que cambian la forma del río en el sitio de la estación). La Figura 6 presenta un ejemplo de una curva de calibración asociada a una estación de medición y los aforos realizados, allí se ilustra como la curva de calibración estuvo vigente durante un periodo 1, sin embargo, los aforos realizados posteriormente (durante el periodo 2) comenzaron a indicar que la curva había perdido

vigencia y por lo tanto era necesario realizar una nueva curva de calibración una vez se contara con un número suficiente de aforos que permitiese conocer la nueva tendencia.

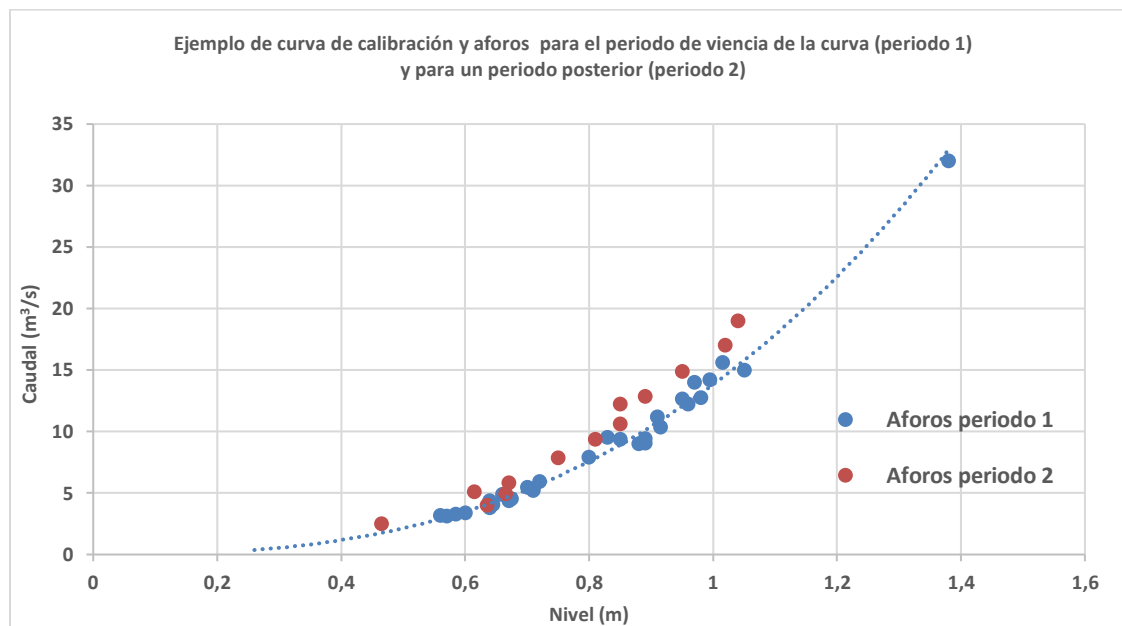


Figura 6 Ejemplo curva de gasto o nivel-caudal

Las curvas de calibración deben ser contrastadas periódicamente con nuevos aforos y según estos vayan presentando desviaciones importantes respecto a la curva de calibración, se deben hacer nuevos aforos para determinar la nueva tendencia, y obtener oportunamente una nueva curva de calibración. Para construir una nueva curva de gasto se deben tener aforos tanto en época lluviosa como en época seca (niveles altos y niveles bajos) para tener un amplio rango de niveles de la curva y esto puede tardar varios meses, incluso más de un año, dependiendo de las condiciones climáticas.

- **Retroactividad de la curva de calibración de la estación una vez se tiene una nueva curva.** Una vez se obtiene una nueva curva de gasto, su periodo de vigencia debe hacerse retroactivo, es decir, debe regir durante las fechas en que se realiza el grupo de aforos con los cuales se construye, con el fin de que haya una coherencia hidrológica e hidráulica entre las curvas y los diversos aforos realizados. Sin embargo, esto tiene implicaciones, dado que, mientras se obtiene un número suficiente de aforos para un rango amplio de niveles, se deben reportar los caudales con la curva disponible, y una vez se obtiene la nueva curva será necesario cambiar los caudales para garantizar esa coherencia y los nuevos valores pueden variar de forma significativa.

Las consecuencias más relevantes asociadas con este problema son las siguientes:

- **Puede no ser la mejor forma de estimar los aportes totales, situación que se debe evaluar para cada embalse.** En algunos casos podría concluirse que las mediciones del nivel en los principales ríos aportantes a un embalse no son suficientemente confiables para

usarlas en la estimación de los aportes dado que el sitio donde está instalada la estación puede no cumplir con todas las condiciones hidráulicas requeridas, lo que implica que se requiere otra forma de estimar los aportes. El reglamento de medición deberá definir estándares de medición de acuerdo con las condiciones que puedan presentarse.

- **Al comparar con otros métodos de estimación de los aportes a los embalses, por ejemplo, el balance operativo, inevitablemente se tendrán desbalances debido a las incertidumbres de cada uno de los métodos.** Cuando los aportes se estiman con base en mediciones se obtiene por lo general un desbalance (positivo o negativo), el único caso en el que no se obtiene un desbalance es cuando se usa el balance operativo para estimar los aportes.
- **En algunos casos es necesario estimar la precipitación aguas abajo del sitio de medición para mejorar la estimación de los aportes al embalse.** Existen casos donde las características de la cuenca y del embalse hacen necesario que para tener un buen estimado de los aportes al embalse se deba medir otro tipo de variables como por ejemplo la precipitación sobre la cuenca comprendida entre la estación de medición y el sitio de presa.
- **Dependiendo de las características del embalse y de la zona donde se ubica, los resultados de los modelos de estimación de aportes pueden ser imprecisos al no incluir algunas variables como evaporación y filtración.** Existen otros casos donde adicional a lo mencionado en la viñeta anterior, se requiera además de la medición o estimación de variables como la evaporación y filtración, esto siempre y cuando éstas sean relevantes al momento de estimar los aportes a un embalse.
- **Los valores reportados de los aportes no pueden ser 100% precisos.** La medición de las variables involucra una incertidumbre o margen de error de la medición, y viene dada por un rango de valores que probablemente encierren el valor verdadero.

3.2.2. Problema 2: Limitaciones de la aplicación del balance operativo para la estimación de los aportes al embalse.

En algunos casos para la estimación de los aportes al embalse no se cuenta con una estación que permita el registro permanente de niveles del agua, y por lo tanto se hace necesario usar otro tipo de métodos, como el balance operativo, para estimar dichos aportes. Este método consiste en un balance de masa de agua teniendo en cuenta la variación del volumen del embalse, los aportes y los caudales descargados, ya sea por vertimiento, caudal turbinado y otras descargas por estructuras diferentes, cómo descargas de fondo.

En la Figura 7 se presenta el árbol del problema con las principales causas que limitan la aplicación del balance operativo para la estimación de los aportes al embalse, y sus respectivas consecuencias.

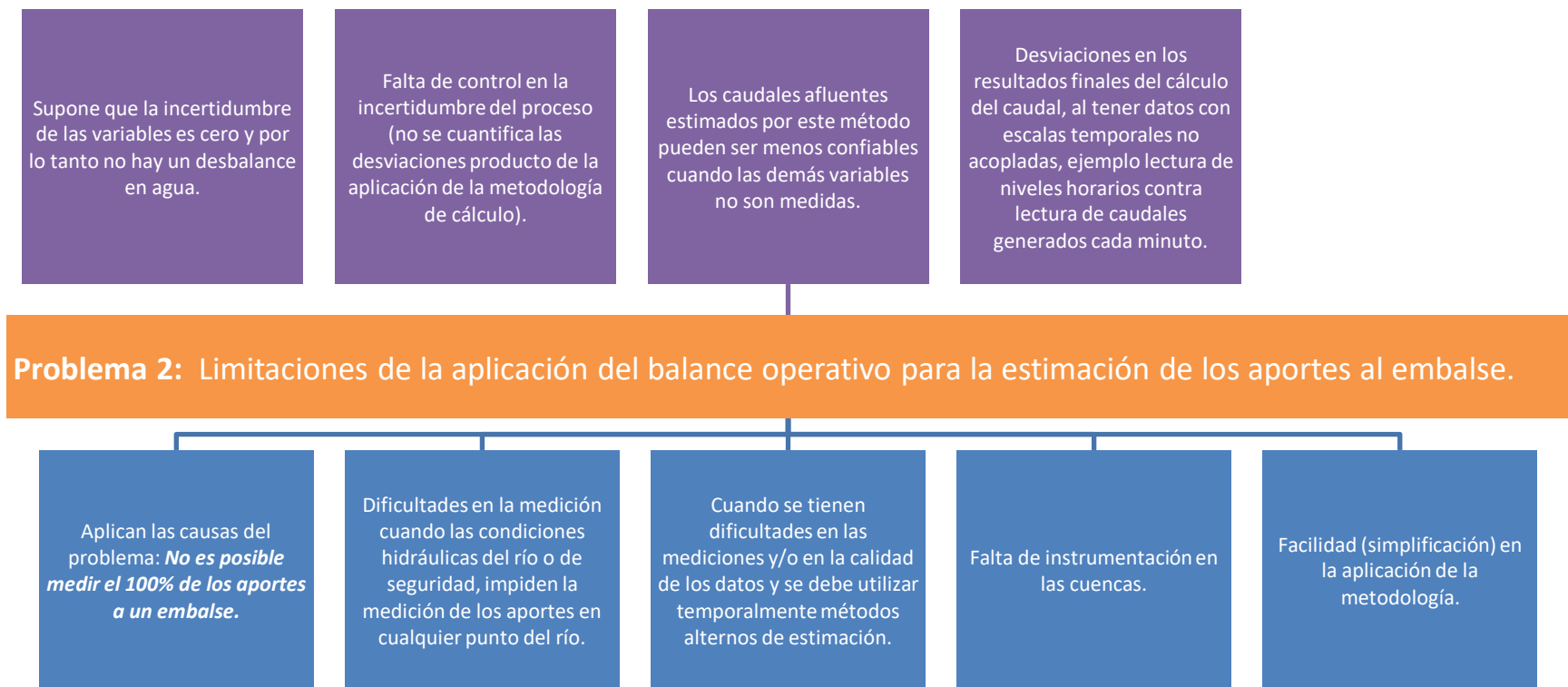


Figura 7 Árbol de problema 2 para la variable aportes

La aplicación del balance operativo para estimar los aportes, el cual parte de que las entradas deben ser iguales a la variación del volumen del embalse más las salidas, tiene varias causas:

- **Aplican todas las causas del Problema “No es posible medir el 100 % de los aportes a un embalse”.** Teniendo en cuenta que todas las causas identificadas para dicho problema están relacionadas con las dificultades para medir algunas variables, ya sea por razones hidráulicas, geomorfológicas o tecnológicas, y por lo tanto no se contaría toda la información medida necesaria para estimar los aportes totales al embalse.
- **Dificultades en la medición cuando las condiciones hidráulicas del río o de seguridad, impiden la medición de los aportes en cualquier punto del río.**
- **Cuando se tienen dificultades en las mediciones y/o en la calidad de los datos y se debe utilizar temporalmente métodos alternos de estimación.**
- **Falta de instrumentación en las cuencas.** Sucede cuando es difícil encontrar un sitio con los requerimientos técnicos o de seguridad para la instalación y operación de una estación.
- **Facilidad (simplificación) en la aplicación de la metodología.** El método de balance en general resulta de fácil aplicación siempre que se disponga de todas las variables para su estimación.

La aplicación del balance operativo tiene asociadas las siguientes consecuencias:

- **Supone que la incertidumbre de las variables es cero y por lo tanto no hay un desbalance en agua.** Cuando el aporte se estima a partir del balance operativo, no se presenta ningún desbalance por lo que no se refleja la verdadera incertidumbre de esta variable.
- **Falta de control en la incertidumbre del proceso (no se cuantifica las desviaciones producto de la aplicación de la metodología de cálculo).** No se identifica ni cuantifica la incertidumbre asociada a cada una de las variables contempladas en el balance.
- **Los caudales afluentes estimados por este método pueden ser menos confiables cuando las demás variables no son medidas.** Si algunas de las variables involucradas en la estimación del balance no son medidas esto genera mayor incertidumbre en los caudales estimados.
- **Desviaciones en los resultados finales del cálculo del caudal, al tener datos con escalas temporales no acopladas, ejemplo lectura de niveles horarios contra lectura de caudales generados cada minuto.**

3.2.3. Problema 3: No es posible medir directamente el 100% de los aportes a un embalse.

Como se mencionó anteriormente el aporte a un embalse está conformado por el caudal de los diferentes ríos y quebradas afluentes a éste, la escorrentía subsuperficial y el agua que por filtración y precipitación llega al espejo de agua. Teniendo en cuenta que no existe tecnología disponible para medir algunas de estas variables y que para la medición de otras no se cuenta con las condiciones necesarias, en la mayoría de los casos es difícil medir el 100% de los aportes a un embalse.

En la Figura 8 se presenta el árbol del problema con las principales causas que limitan o hacen inviable la medición del 100% de los aportes a un embalse con las respectivas consecuencias.



Figura 8 Árbol de problema 3 para la variable aportes

Las principales causas identificadas para este problema son:

- **Los cauces de algunos ríos no cumplen con las condiciones técnicas mínimas requeridas para la instrumentación, esto limita la medición cuando se tiene múltiples afluentes en un embalse.** Los cauces de los ríos en algunos casos son lechos móviles que cambian en el tiempo por fenómenos de socavación y agradación, y por lo tanto no cumplen con las condiciones técnicas mínimas requeridas para la instrumentación. Esta condición resulta más compleja cuando se tiene múltiples afluentes con situaciones similares en el mismo embalse.
- **Hay fenómenos complejos de medir tanto en magnitud como en incertidumbre, como el aporte por escorrentía subsuperficial y recarga subterráneas de otras cuencas (flujos hidrogeológicos).** De acuerdo con el estado del arte de la ingeniería, no existen equipos que permitan una medición confiable de este tipo de procesos hidrogeológicos, en parte por las distintas propiedades fisicoquímicas de los suelos.
- **Existen limitaciones tecnológicas para medir otros aportes distribuidos como la escorrentía superficial directa y la precipitación total en el área del espejo de agua del embalse.** No existen equipos que permitan medir fenómenos distribuidos en un área específica como la precipitación en una región de interés; lo que hace necesario estimarla a partir de mediciones puntuales. Sin embargo, cabe mencionar que estas variables en muchos de los casos no representan unos aportes significativos en el área del espejo de agua de los embalses.
- **Las condiciones hidráulicas y geomorfológicas de los ríos limitan la ubicación de las estaciones, en especial cerca a la cola del embalse.** Es usual que en la cola de los embalses se presente un remanso del agua, lo cual obliga a que se tenga que ubicar la estación de medición lejos de dicha zona, quedando un porcentaje del área de la cuenca, entre la estación y el sitio de presa, en la que no se puede medir directamente el aporte de agua.
- **Las condiciones de orden público limitan o impiden la instrumentación de algunos ríos,** puesto que pueden representar un riesgo para la integridad física de los operarios encargados de la instalación y mantenimiento de las estaciones.

Las consecuencias asociadas a este problema son:

- **Las limitaciones anteriores obligan a aceptar porcentajes de área de cuenca donde no es posible medir los aportes.** Esto se puede subsanar mediante el uso de metodologías indirectas para la estimación de los aportes, en función del porcentaje del área no medida y en algunas ocasiones complementadas con relaciones de precipitación, lo cual, puede aumentar las incertidumbres de los valores finalmente estimados para el aporte total.

- **Incertidumbre total no cuantificada en los aportes.** No es posible cuantificar la incertidumbre total en los aportes puesto que no se tienen medidas o estimadas todas las variables que lo componen. Adicionalmente, no se tenía identificada la necesidad de cuantificar dicha incertidumbre ni la forma de incluir este parámetro en los modelos de planeamiento energético.
- **Utilización de balance hídrico para estimar el aporte cuando no es posible instrumentar o acceder a la información medida de manera remota.** En algunos casos cuando no es posible instrumentar todas las corrientes afluentes al embalse, es necesario utilizar otras técnicas de estimación del aporte total, como es el caso del balance hídrico. En este caso no se obtendría un desbalance, siempre y cuando se midan las demás variables consideradas en la ecuación de balance.
- **Uso de metodologías para estimar los caudales en el área no medida.** Al no poder medir el 100% del aporte se hace necesario usar metodologías para su estimación.
- **Los valores reportados de los aportes no pueden ser 100% precisos.** Lo anterior dado que la medición y estimación de las variables involucra una incertidumbre o margen de error, y viene dada por un rango de valores donde probablemente se encuentra el valor verdadero.

3.2.4. Problema 4: En algunos casos no es posible medir directamente los aportes.

Como se indicó en el contexto operativo al inicio del documento, para determinar los aportes es necesario medir el caudal de los ríos afluentes a los embalses y para ello se utiliza una estación limnigráfica en la que se realiza el registro de niveles del agua y a partir de una curva de calibración, se determinan los caudales correspondientes a cada nivel.

La ubicación de la estación requiere de unas condiciones hidráulicas especiales, esto es, un tramo relativamente recto del río, aguas arriba de un sitio denominado control hidráulico, donde las condiciones del río sean estables, no haya cambios importantes en la sección transversal en la que se van a realizar las mediciones (no se presenten procesos de socavación ni de sedimentación del cauce del río) y sea posible y seguro el ingreso con los equipos a la corriente de agua, para realizar los aforos, tanto en niveles bajos como en momentos de caudales altos.

En la Figura 9 se presenta el árbol del problema con las principales causas que limitan o hacen inviable la medición de los caudales de algunos ríos y con ello la determinación de los aportes a un embalse, y las respectivas consecuencias.



Figura 9 Árbol de problema 4 para la variable aportes

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Dificultades en la medición por las condiciones de acceso.** Las condiciones de orden público limitan o impiden la instalación de equipos de medición o el ingreso a los sitios de las estaciones para realizar campañas de aforo y para el mantenimiento de la estación.
- **Limitaciones tecnológicas.** En aquellos sitios donde no es posible instalar estaciones limnigráficas tampoco es tecnológicamente posible medir los caudales de forma continua, y por lo tanto se hace necesario estimarlos a través de otras metodologías como balance hídrico o mediante el uso de otros modelos como los de lluvia-escorrentía.
- **Restricciones en la infraestructura y condiciones de seguridad física para el personal.** En ocasiones no es posible ingresar en forma segura con los equipos de aforo al río para realizar la medición del caudal, dado que no se cuenta con un puente o estructura para operar los equipos de medición y en épocas de invierno, cuando se presentan grandes crecientes, el riesgo de realizar aforos es muy alto, tanto para los operarios como para los equipos.
- **Falta de condiciones hidráulicas y geomorfológicas favorables para las mediciones.** Como se indicó, la ubicación de una estación requiere de unas condiciones hidráulicas y geomorfológicas especiales, de manera que se logre tener una curva de calibración en la que la relación nivel - caudal sea estable. Esta condición no siempre es posible encontrarla en los ríos, debido a que es común la presencia de lechos móviles en las corrientes o se carece de un tramo que cumpla con las características hidráulicas requeridas, por lo que no es posible entonces la instalación de una estación para obtener información confiable.
- **Acciones antrópicas que impiden tener secciones estables.** Actividades como la minería limitan las mediciones, dado que pueden alterar las características de la zona donde operan las estaciones por los procesos de socavación y agradación del lecho del río, impidiendo tener secciones estables que son necesarias para una buena medición.

Este problema conlleva a varias consecuencias:

- **Incertidumbre (no cuantificada) en los aportes.** No se tenía identificada la necesidad de cuantificar la incertidumbre ni la forma de incluir este parámetro en los modelos. Para un mayor detalle se puede consultar el árbol del problema asociado a la incertidumbre, denominado “No se tiene cuantificada la incertidumbre total de los aportes reportados diariamente”.
- **Uso de extrapolaciones para la estimación de caudales no medidos.** Cuando no se pueden medir los aportes a un embalse es necesario estimarlos mediante algún método, como por ejemplo el uso de extrapolación de datos medidos en otro lugar de la misma cuenca, o de otras cuencas vecinas con condiciones hidrológicas similares.

- **Existencia de un desbalance en volumen, cuando todas las variables son medidas o estimadas por métodos distintos al balance operativo.** Cuando no se pueden medir los aportes y estos se estiman por algún método distinto al balance operativo, al calcular el desbalance necesariamente se obtendrá un valor para éste, lo anterior siempre y cuando todas las otras variables que intervienen en el cálculo del balance sean medidas o estimadas también con métodos distintos al balance operativo.
- **Es necesario estimar los aportes de forma teórica.** Dado que no se cuenta con mediciones directas de aportes es necesario estimarlos a partir de algún método hidrológico.
- **Uso del balance operativo para estimar los aportes en algunos casos.** Cuando no se tienen mediciones de aportes se tiene que optar por otras formas para estimarlos como por ejemplo el balance operativo. Sin embargo, si los aportes se estiman por este método los desbalances necesariamente serán cero.
- **Los valores reportados de los aportes no pueden ser 100% precisos.** Lo anterior se debe a la incertidumbre del método utilizado para estimarlos.

3.2.5. Problema 5: Dependencia de información de terceros para la estimación de los aportes.

En ocasiones el agente que opera un embalse no cuenta con equipos o personal para medir las variables hidrometeorológicas requeridas y por lo tanto debe utilizar la información de terceros, ya sea que el agente decida contratar el servicio de suministro de información hidrometeorológica para la operación de sus embalses, o consultarla directamente de agencias hidrometeorológicas o incluso requerir la de otros agentes.

En la Figura 10Figura 9 se presenta el árbol del problema con las principales causas por las cuales, en algunas ocasiones para poder estimar los aportes, el agente debe recurrir a información de terceros, y sus respectivas consecuencias.

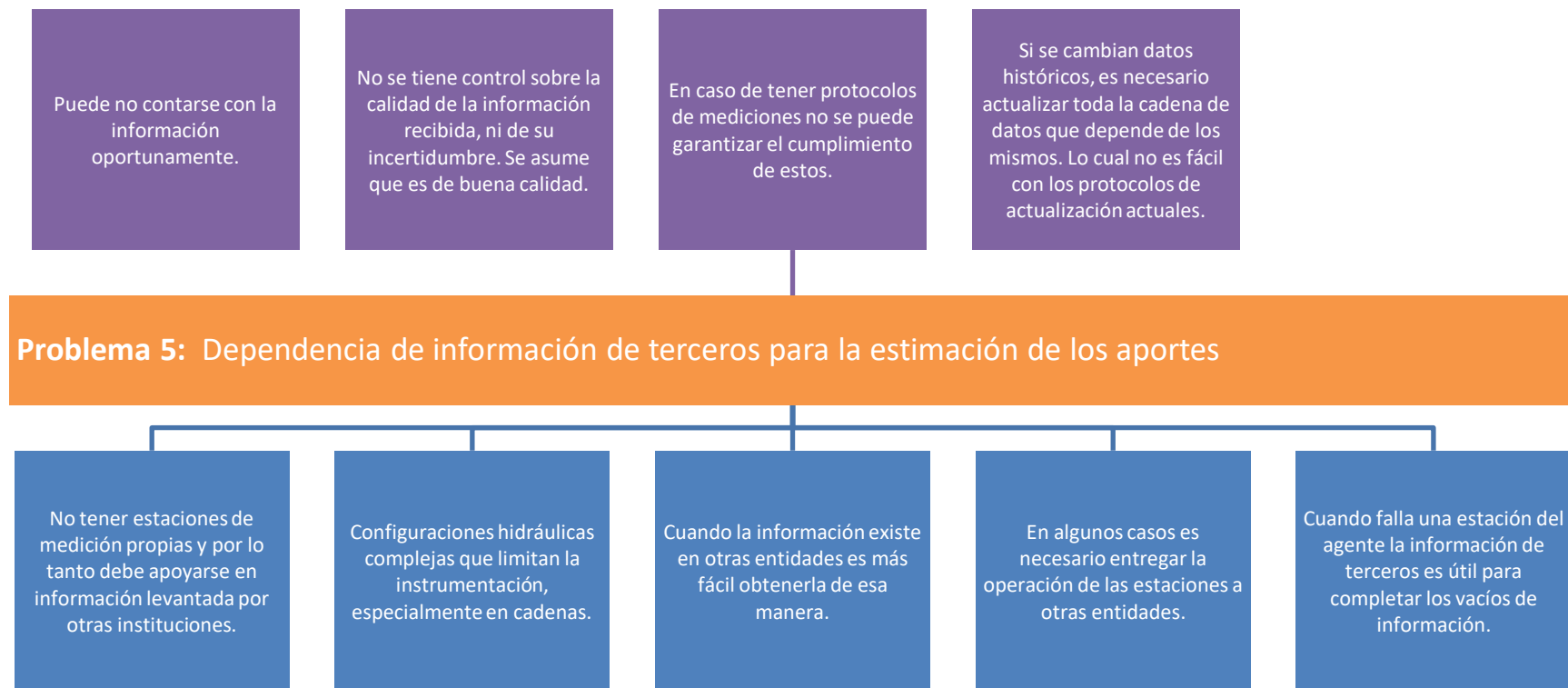


Figura 10 Árbol de problema 5 para la variable aportes

En algunas ocasiones para poder estimar los aportes, el agente debe recurrir a información de terceros, debido a las siguientes causas principalmente:

- **No tener estaciones de medición propias y por lo tanto debe apoyarse en información levantada por otras instituciones.** Esta situación se puede presentar cuando un agente tiene problemas para instalar su propia estación o la que tiene está presentando problemas y debe acudir a información de otras entidades.
- **Configuraciones hidráulicas complejas que limitan la instrumentación, especialmente en cadenas.** En algunos casos, se presentan embalses en cadena cercanos el uno al otro, por lo que en ocasiones las descargas turbinadas ocurren en la cola del embalse aguas abajo y por ello no es posible medir el caudal a la salida; así mismo, puede ocurrir que el embalse de aguas arriba sea de un agente y el segundo embalse en cadena aguas abajo sea de otro agente, lo que implica la necesidad del intercambio de la información entre agentes para el caso de descargas turbinadas, vertimientos, etc.
- **Cuando la información existe en otras entidades, puede ser más fácil obtenerla de esa manera.** Pudiera darse el caso que se considere más fácil conseguir la información de un tercero para evitar de esta forma costos en instalación y mantenimiento de equipos.
- **En algunos casos es necesario entregar la operación de las estaciones a otras entidades.** Algunas de las razones por las cuales se presenta esta situación son: por temas de seguridad de los equipos o del personal (por ejemplo: vandalismo a la empresa generadora pero no a la entidad territorial), o por independencia de la información.
- **Cuando falla una estación del agente la información de terceros es útil para completar los vacíos de información.**

Este problema tiene asociadas las siguientes consecuencias:

- **Puede no contarse con la información oportunamente.** No siempre se puede garantizar que la información de un tercero se tenga con la antelación suficiente que permita su revisión y reporte oportuno.

La información de otras entidades no necesariamente está disponible en tiempo real y por tanto puede no tenerse con la oportunidad requerida. Un tercero también puede tener dificultades para suministrar la información en la hora acordada, lo cual puede generar bastantes dificultades si no se cuenta con un método alterno para obtener la información.

- **No se tiene control sobre la calidad de la información recibida, ni de su incertidumbre. Se asume que es de buena calidad.** Al no tener toda la trazabilidad de la información es más difícil poder detectar si esta es errónea o si ya cuenta con todos los procesos de revisión y validación necesarios.

- **En caso de tener protocolos de mediciones no se puede garantizar el cumplimiento de estos.** En caso de tener establecidos protocolos de medición y de revisión de calidad de información resultaría difícil exigirle a un tercero que los aplique.
- **Si se cambian datos históricos, es necesario actualizar toda la cadena de datos que depende de los mismos. Lo cual no es fácil con los protocolos de actualización actuales.** Cuando un tercero cambia datos históricos no hay garantía que reporte este cambio a todos los agentes que usaron su información.

3.2.6. Problema 6: Las mediciones pueden entregar datos inconsistentes o sin sentido físico.

En algunas ocasiones debido a las limitaciones de las medidas mencionadas ampliamente en el problema “Limitaciones en el uso de mediciones directas para la estimación de los aportes al embalse” se puede tener información de mala calidad que no representa el valor real de la variable hidrometeorológica.

En la Figura 11 se presenta el árbol del problema con las principales causas por las cuales las mediciones pueden entregar datos inconsistentes o sin sentido físico, y sus respectivas consecuencias.

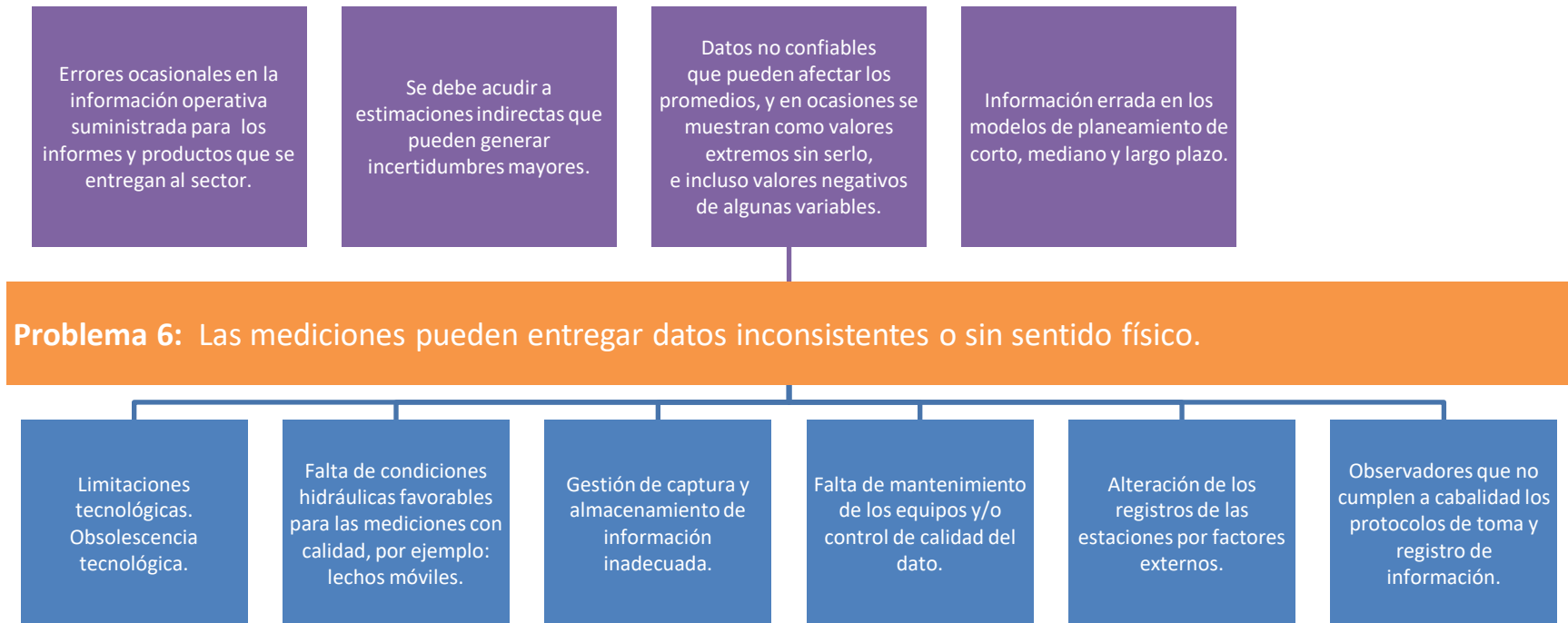


Figura 11 Árbol de problema 6 para la variable aportes

Este problema tiene asociadas diferentes causas:

- **Limitaciones u obsolescencia tecnológicas.** El tipo de tecnología empleada depende en gran medida de la precisión que se desea obtener frente a los costos de adquisición, mantenimiento y reparación del instrumento. Algunos equipos usados pueden requerir un mayor mantenimiento que otros por ser más susceptibles a presentar fallas.
- **Falta de condiciones hidráulicas favorables para las mediciones con calidad.** Esta situación se presenta cuando por ejemplo se tiene un lecho inestable o móvil, o cuando la sección ha sufrido alguna alteración debido a ramas y arboles atravesados en el río, generalmente luego de una creciente.
- **Gestión de captura y almacenamiento de información inadecuada.** Esta situación puede presentarse por ejemplo por errores humanos al transcribir los datos de planillas diligenciadas manualmente a formatos digitales o también por problemas en la programación de los sensores de medición.
- **Falta de mantenimiento de los equipos y/o control de calidad del dato.** Esta situación se presenta si no se hacen los mantenimientos preventivos y correctivos a tiempo lo que puede conducir por ejemplo a tener instrumentación descalibrada. También se presenta cuando faltan controles ya sea automáticos o supervisados tanto en la toma de datos como en la validación de éstos. La falta de mantenimiento se puede presentar por dificultades de acceso a la estación, como es el caso de orden público o sitios muy distantes de centros poblados.
- **Alteración de los registros de las estaciones por factores externos.** Esta situación puede darse por ejemplo cuando se ubica justo debajo del sensor del nivel de agua un bote, material vegetal o basura arrastrada por las corrientes de agua, que hace que el sensor registre un nivel de agua errado.
- **Observadores que no cumplen a cabalidad los protocolos de toma y registro de información.** Para la gestión de las estaciones es necesario utilizar personas del campo u observadores, usualmente habitantes cercanos al sitio de la estación, que las visitan esporádicamente para verificar algunos parámetros de calidad; aunque los observadores cuenten con una buena capacitación puede darse el caso que por error u omisión no cumplan con los requerimientos básicos para una buena gestión de mantenimiento de equipos o de reporte de daños.

Las consecuencias de este problema se presentan a continuación:

- **Errores ocasionales en la información operativa suministrada para los informes y productos que se entregan al sector.** Uno de los efectos identificados que podría tener la información incorrecta es que puede conducir además a errores en la determinación del indicador del estado del sistema cuando este está cercano al 90% (Estatuto de desabastecimiento). Cabe resaltar que esto aún no ha ocurrido.

- Se debe acudir a estimaciones indirectas que pueden generar incertidumbres mayores.
- Datos no confiables que pueden afectar los promedios, y en ocasiones se muestran como valores extremos sin serlo, e incluso valores negativos de algunas variables.
- Información errada en los modelos de planeamiento de corto, mediano y largo plazo.

3.2.7. Problema 7: Falta de coherencia entre los valores diarios y los datos mensuales de aportes.

Cuando se comparan los promedios mensuales obtenidos de caudales diarios operativos con los valores mensuales de las series oficiales de caudales, algunas veces estos valores no coinciden. Este problema tiene asociadas diversas causas entre éstas el uso de diferentes metodologías para su estimación y la diferencia en las fechas para su respectivo reporte que conlleva a que se puedan realizar diferentes análisis de calidad de información con frecuencias temporales y alcances diferentes. La Figura 12 presenta las causas y consecuencias identificadas para este problema.

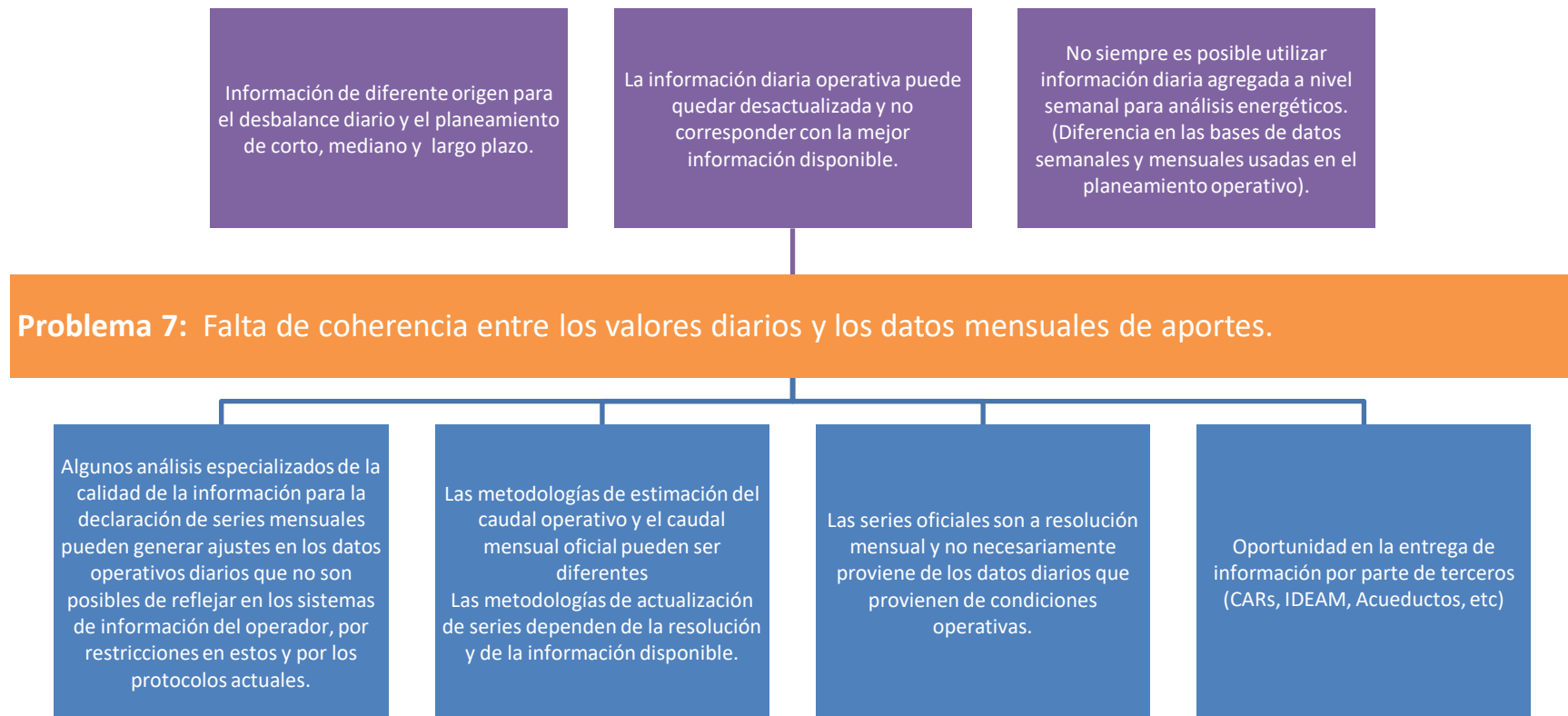


Figura 12 Árbol de problema 7 para la variable aportes

Este problema tiene asociadas diferentes causas:

- **Algunos análisis especializados de la calidad de la información para la declaración de series mensuales pueden generar ajustes en los datos operativos diarios que no son posibles de reflejar en los sistemas de información del operador, por restricciones en estos y por los protocolos actuales.** Actualmente se pueden modificar los datos operativos del mes anterior con plazo máximo hasta el séptimo día del mes en curso, sin embargo, el plazo máximo para la declaración de las series oficiales mensuales del año es el 31 de marzo del siguiente año, por lo que se dispone de mayor tiempo para hacer análisis especializados de la calidad de la información.
- **Las metodologías de estimación del caudal operativo y el caudal mensual oficial pueden ser diferentes.** Las metodologías de actualización de series dependen de la resolución y de la información disponible en el momento del reporte de la información.
- **Las series oficiales son a resolución mensual y no necesariamente proviene de los datos diarios que provienen de condiciones operativas.**
- **Oportunidad en la entrega de información por parte de terceros (CARs, IDEAM, Acueductos, etc).**

Las consecuencias de este problema son las siguientes:

- **Información de diferente origen para el desbalance diario y el planeamiento de corto, mediano y largo plazo.** La información usada para el cálculo de desbalances corresponde a la operativa diaria para garantizar la consistencia del cálculo, mientras que en el modelo de planeamiento se utiliza la información mensual que los agentes oficializan en los primeros meses de cada año, la cual puede ser estimada con información diferente a la reportada operativamente. Las bases de datos del mediano y largo plazo pueden no ser homogéneas debido a que el año en curso se complementa con la información operativa.
- **La información diaria operativa puede quedar desactualizada y no corresponder con la mejor información disponible.**
- **No siempre es posible utilizar información diaria agregada a nivel semanal para análisis energéticos. (Diferencia en las bases de datos semanales y mensuales usadas en el planeamiento operativo).** El efecto del origen diferente de la información diaria y la mensual también se aprecia en las bases de datos de los modelos para el planeamiento operativo energético, dado que los aportes reportados diariamente al CND son empleados para la construcción de bases de datos semanales y mensuales, y posteriormente las bases de datos mensuales son ajustadas cuando los agentes oficializan las series de caudales mensuales en los primeros meses de cada año, las cuales pueden ser calculadas con información diferente a la reportada operativamente.

3.2.8 Problema 8: Falta de información de las centrales hidroeléctricas menores.

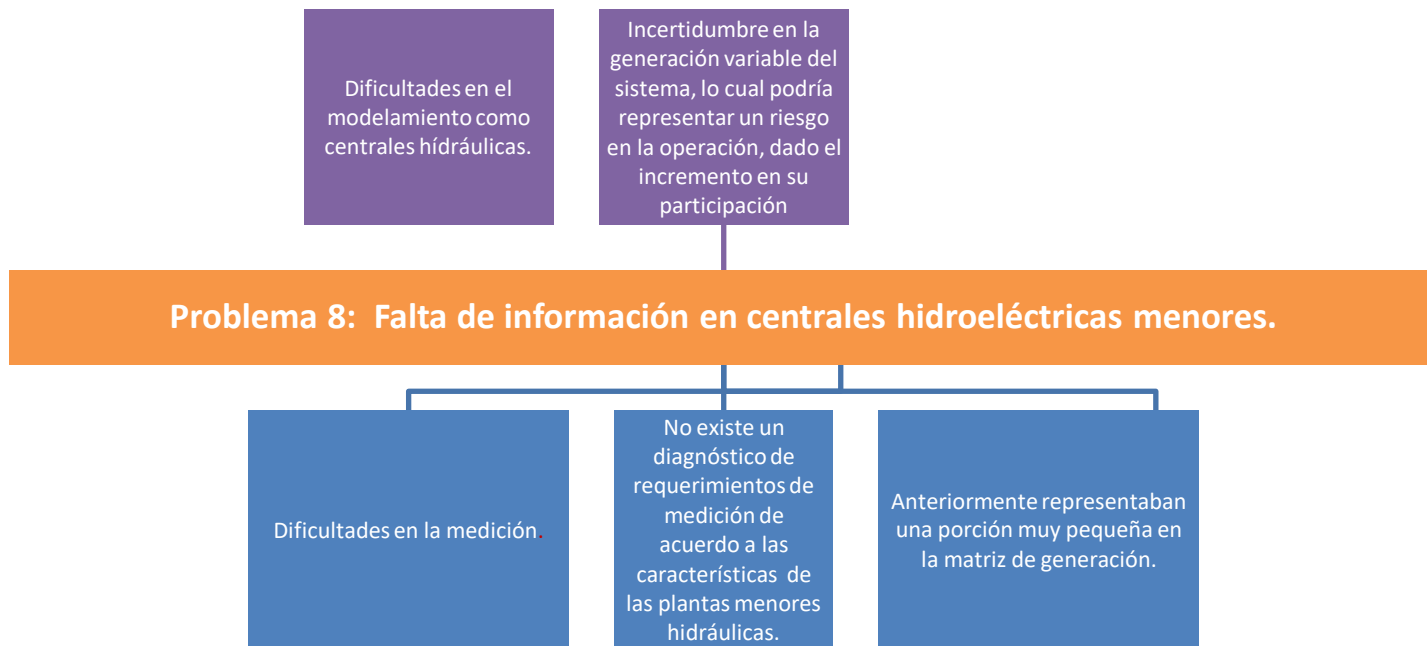


Figura 13 Árbol de problema 8: Falta de información de las centrales hidroeléctricas menores

Las plantas menores hidráulicas corresponden a aprovechamientos de pequeños potenciales hidroeléctricos, usualmente localizados en las zonas rurales del país de difícil acceso, que no tienen embalses de regulación. En ese orden de ideas, este tipo de plantas están sujetas a grandes variaciones hidrológicas de una temporada a otra, de un día a otro, e incluso, de una hora a otra; lo que se traduce en la dificultad de anticipar la cantidad de energía que podría ser entregada al sistema. Actualmente no hay reglas que obliguen al reporte de los aportes de este tipo de plantas.

Las causas asociadas a este problema son descritas a continuación:

- **Dificultades en la medición.** Considerando que este tipo de centrales, en su gran mayoría, están localizadas en zonas rurales del país, es posible tener dificultades técnicas y de orden público, que no permiten la medición.
- **No existe un diagnóstico de requerimientos de medición de acuerdo a las características de las plantas menores hidráulicas.** Es necesario profundizar en el diagnóstico de las necesidades de información de las plantas menores, para que se definan estándares de medición que sean viables y acordes a la realidad operativa de las mismas.
- **Anteriormente representaban una porción muy pequeña en la matriz de generación.** Debido a su incremento y variabilidad en su generación, se requiere contar con la información asociada a estos recursos.

Las consecuencias asociadas a este problema son descritas a continuación:

- **Dificultades en el modelamiento como centrales hidráulicas.** Actualmente en algunos casos, no se cuenta con la información de aportes de las centrales hidroeléctricas menores. Debido a lo anterior, no es posible modelarlas como centrales hidráulicas; por lo tanto, son modeladas como centrales térmicas o renovables, lo que implica que se pierda la correlación de su generación con el comportamiento hidrológico del sistema. Existen algunos casos de centrales menores que están representadas en el modelo y consideradas como centrales hidráulicas, dado que se encuentran inmersas en cadenas. Se requiere de un reporte diario de estas centrales para representar adecuadamente la realidad hidrológica.
- **Incertidumbre en la generación variable del sistema, lo cual podría representar un riesgo en la operación, dado el incremento en su participación.** Se requiere contar con información de aportes de plantas hidroeléctricas menores para disminuir la incertidumbre en la cuantificación de la generación variable del sistema.

3.3. Árboles de problema asociados a los volúmenes del embalse.

El volumen es la cantidad de agua almacenada en un embalse, formado por la construcción de una presa en el curso natural de un río. El volumen es estimado de manera indirecta a partir de la medición del nivel del embalse y de la curva batimétrica que relaciona el volumen y el nivel.

En la Figura 14 se puede observar el procedimiento empleado para la obtención del volumen del embalse. Por un lado, el nivel puede ser medido manual o automáticamente con una frecuencia temporal alta (diaria, horaria, minutal o continua), y por otro lado, la batimetría o levantamiento de la superficie del terreno que almacena el volumen de agua (desde el nivel mínimo hasta el nivel máximo), la cual se realiza con equipos multihaz de alta tecnología, se construye/actualiza cada 5 años por lo general en el sector eléctrico, período en el que se pueden apreciar cambios de la capacidad del embalse provocados por procesos de erosión y sedimentación los cuales son más evidentes en esta escala temporal.

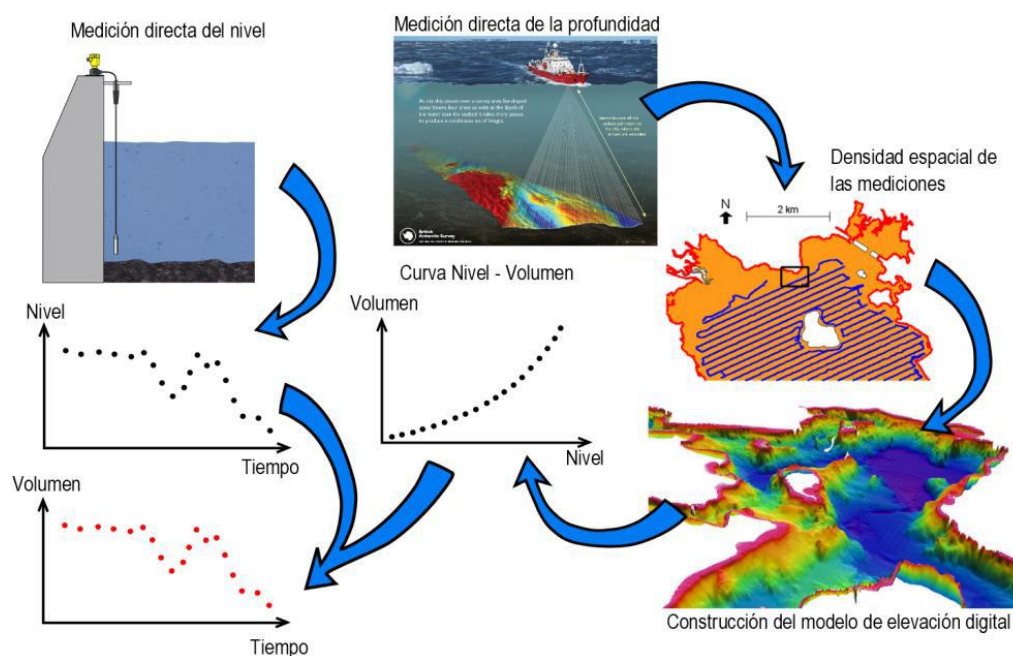


Figura 14 Esquema del procedimiento para calcular el volumen de un embalse. Fuente: (UNAL 2019)

A continuación, se describen las principales problemáticas relacionadas con la medición y estimación de los volúmenes de un embalse, las diferentes causas que originan dichos problemas y las posibles consecuencias de estos.

Es importante notar que para cada uno de los árboles asociados a los volúmenes de embalse se tienen consecuencias importantes para la planeación y operación del sistema, las cuales son:

- **Subestimación o sobreestimación del volumen útil:** Al no existir un reglamento, el reporte de datos de volumen útil diario entregado por los agentes puede generar sesgos en los resultados del planeamiento operativo indicativo, ya que la condición inicial del embalse afecta las decisiones del modelo en cuanto al embalsamiento a lo largo de la simulación.
- **Errores en los informes de seguimiento de la situación del sistema y el estado el variables energéticas:** Los datos reportados sin un procedimiento de medición que asegure su calidad pueden generar errores en diferentes informes de seguimiento de la situación del sistema. Aunque actualmente la información puede ser corregida de forma posterior, no existe un procedimiento que permita garantizar que hubo una mejora en la información. Adicionalmente, existe el riesgo de entregar una señal inoportuna e inadecuada a los diferentes actores del sector.
- **Subestimación o sobreestimación en el desbalance hídrico de los recursos y cadenas del SIN.** Cuando no se puede medir el nivel del embalse de forma directa y es necesario estimarlo por algún método indirecto, la incertidumbre en la medición de la variable es mayor y esta aporta a su vez al error en la ecuación del balance de masa.
- **Afectación de las decisiones de exportación de energía (transacciones internacionales de electricidad).** Cuando el volumen de un embalse es menor al NEP (Nivel ENFICC Probabilístico) y tiene un precio de oferta fuera de mérito, su disponibilidad para atender demanda diferente a la Demanda Total Doméstica será cero. La calidad del dato reportado puede afectar las decisiones que se toman en el despacho frente a este tipo de transacciones, dado que el embalse no será considerado para exportaciones de energía.
- **Errores en la liquidación, cálculo del precio de reconciliación positiva.** Para determinar el precio de reconciliación positiva de un recurso hidráulico se comparan las reservas agregadas de los embalses con el nivel de probabilidad de vertimiento (NPV). La calidad del dato de volumen reportado puede afectar el precio con el cual se liquide una planta en un periodo determinado.
- **Afectación de las decisiones en el proceso de compra de EVE.** El nivel del embalse diario se utiliza en el mecanismo para el sostenimiento de la confiabilidad establecido en el estatuto de riesgo de desabastecimiento. Una vez activado dicho estatuto, se procede con el cálculo de asignación y entrega de EVE (Energía Vendida y Embalsada), el cual define la energía que puede asignarse al agente para que esta sea embalsada y entregada al SIN de forma posterior. El cálculo de la energía remanente o disponible para embalsar se estima por medio del NEP (Nivel ENFICC Probabilístico), los compromisos de EVE adquiridos anteriormente por el agente y el nivel de embalse diario reportado para cada embalse. Los errores en el reporte del volumen útil diario podrían

llevar a imprecisiones sobre la estimación de la energía remanente y sobre la decisión de asignación y entrega de dicha energía durante el despacho.

3.3.1. Problema 1: En algunos casos es difícil medir automáticamente el nivel del embalse.

Todos los embalses del SIN cuentan con un sistema de medición manual del nivel o cota de la superficie del agua, el cual consta de un conjunto de miras o regletas graduadas localizadas por lo general en la cara interna de la presa o en muros cercanos a ésta. Adicionalmente, en la mayoría de los embalses se puede medir el nivel de manera automática, facilitando así la captura y transmisión del dato al centro de control. Sin embargo, existen casos en los que técnicamente no ha sido posible instalar sistemas convencionales de medición automática (e.g. radar, presión, etc.).

La Figura 15 presenta las causas y consecuencias identificadas para este problema.

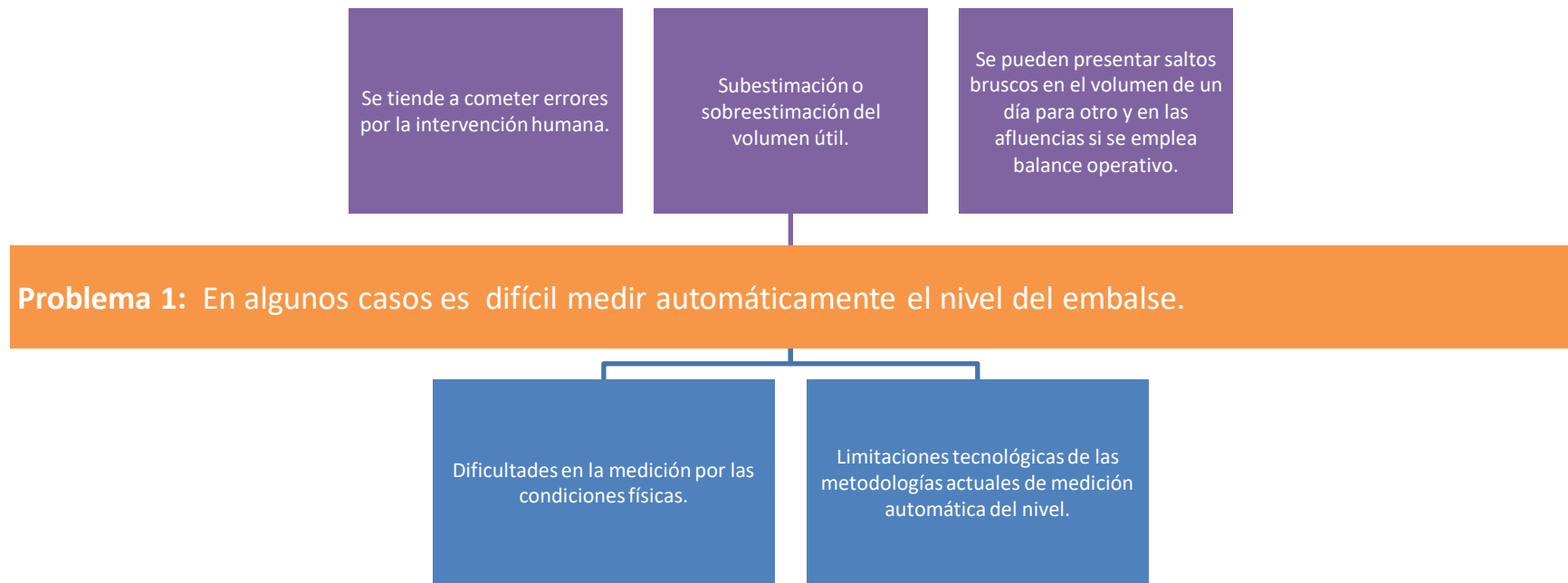


Figura 15 Árbol de problema 1 para la variable volumen

Este problema tiene asociadas diferentes causas:

- **Dificultades en la medición por las condiciones físicas.** En relación con la siguiente causa, se puede mencionar que en algunos casos no es posible instalar equipos automáticos en lugares fijos para la medición del nivel del agua en el embalse en cualquier época del año, debido a las características de la cara de la presa o estructuras aledañas que no permiten el cubrimiento de todo el rango de niveles.
- **Limitaciones tecnológicas de los sistemas actuales de medición automática del nivel.** En otros casos, es posible instalar sensores automáticos de medición del nivel. Sin embargo, el rango de niveles del embalse es tan amplio (cientos de metros) que la calidad de la medición se deteriora en algunas regiones generando errores significativos en la medición.

Las consecuencias de este problema son las siguientes:

- **Se tiende a cometer errores por la intervención humana.** Al realizar una medición manual del nivel de embalse, en la que un observador toma el dato de nivel de la mira y lo registra en una bitácora y luego lo comunica por teléfono a la central, sumado al oleaje o fluctuaciones naturales del nivel del embalse, se podrían cometer errores humanos. Situación que se puede evitar si se emplea un sistema automático de medición, pero siempre y cuando se encuentre calibrado.
- **Subestimación o sobreestimación del volumen útil.** El reporte de datos de volumen útil diario entregado por los agentes sin estándares de calidad definidos, podría generar sesgos en los resultados del planeamiento operativo indicativo, ya que la condición inicial del embalse afecta las decisiones del modelo en cuanto al embalsamiento a lo largo de la simulación.
- **Se pueden presentar saltos bruscos en el volumen de un día para otro y en las afluencias si se emplea balance operativo.** Si un dato de nivel es mal medido (al final del día), se tendrá un dato de volumen errado que a su vez generará una estimación errada de los aportes de dos días contiguos, siempre y cuando dichos aportes sean estimados con la metodología de balance operativo, presentándose así cambios fuertes en las series diarias de volumen y aportes. Estos saltos pueden afectar las condiciones iniciales la embalse en las simulaciones del mediano y largo plazo.

3.3.2. Problema 2: Dependencia de información de terceros.

Por lo general, los agentes tienen mediciones propias de nivel en los embalses asociados a las plantas de generación. No obstante, en aquellos casos en los que los embalses son

de propiedad de un tercero, pero están asociados indirectamente a un sistema de generación, se hace uso de la información de niveles diarios de las otras entidades. En todo caso, los agentes están en la obligación de garantizar la calidad de los levantamientos batimétricos bajo estándares establecidos en el CNO. En la Figura 16 se presentan las causas y consecuencias identificadas para este problema.

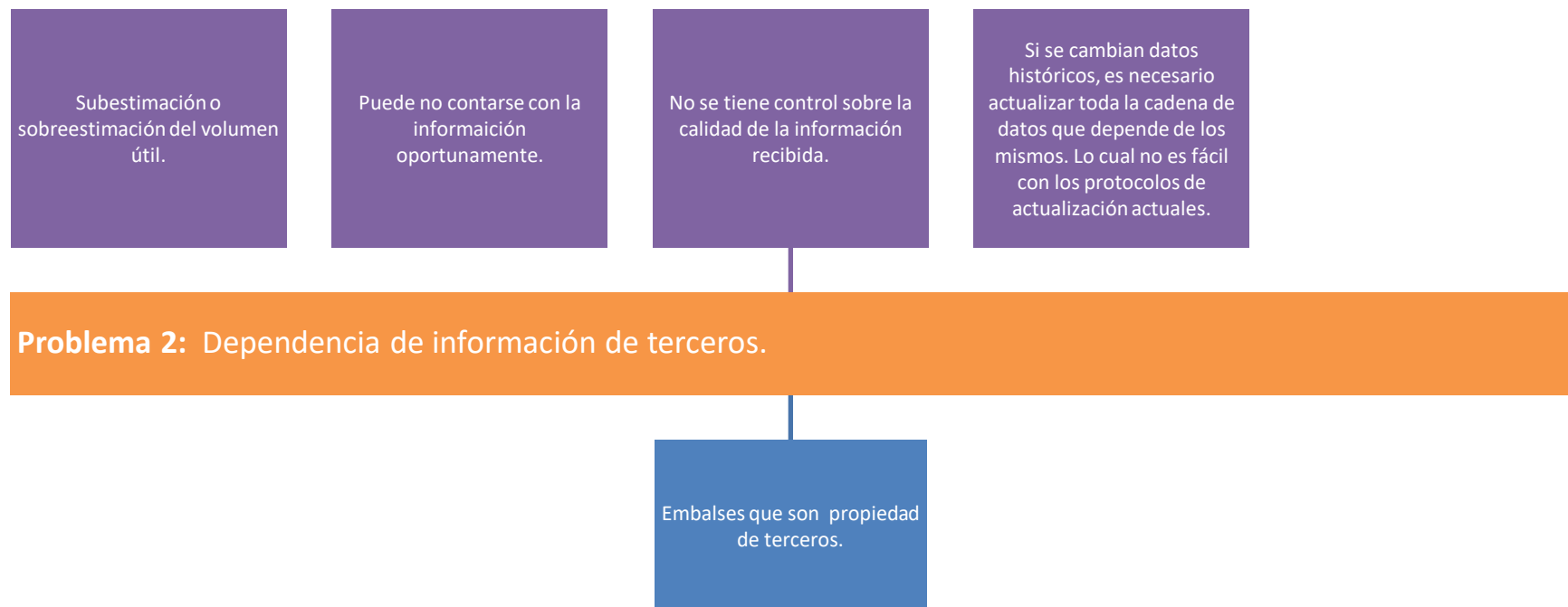


Figura 16 Árbol de problema 2 para la variable volumen

Este problema tiene asociada la siguiente causa:

- **Embalses que son propiedad de terceros.** Las entidades propietarias (e.g. autoridades ambientales) de los embalses poseen sistemas propios de medición y comparten la información oficial con los agentes.

Las consecuencias de este problema son las siguientes:

- **Subestimación o sobreestimación del volumen útil.** El reporte de datos de volumen útil diario entregado por los agentes sin estándares de calidad definidos, podría generar sesgos en los resultados del planeamiento operativo indicativo, ya que la condición inicial del embalse afecta las decisiones del modelo en cuanto al embalsamiento a lo largo de la simulación.
- **Puede no contarse con la información oportunamente.** La información de medición de niveles de otras entidades no necesariamente está disponible en tiempo real y por tanto puede no tenerse con la oportunidad requerida.
- **No se tiene control sobre la calidad de la información recibida.** Se asume que la información recibida del registro de nivel es de buena calidad y que tiene un protocolo de medición. Sin embargo, en caso de tener protocolos de medición de niveles no se puede garantizar el cumplimiento de éstos por parte de un tercero.
- **Cuando haya un cambio de datos históricos de los terceros, puede no actualizarse toda la cadena de datos que depende de los mismos.**

3.3.3. Problema 3: Las mediciones pueden entregar datos inconsistentes.

Aunque es poco frecuente en esta variable, se pueden presentar algunos datos inconsistentes debido principalmente por errores en la captura del dato ya sea por factores humanos (medición manual) o tecnológicos (medición automática). En la Figura 17 se presentan las causas y consecuencias identificadas para este problema.

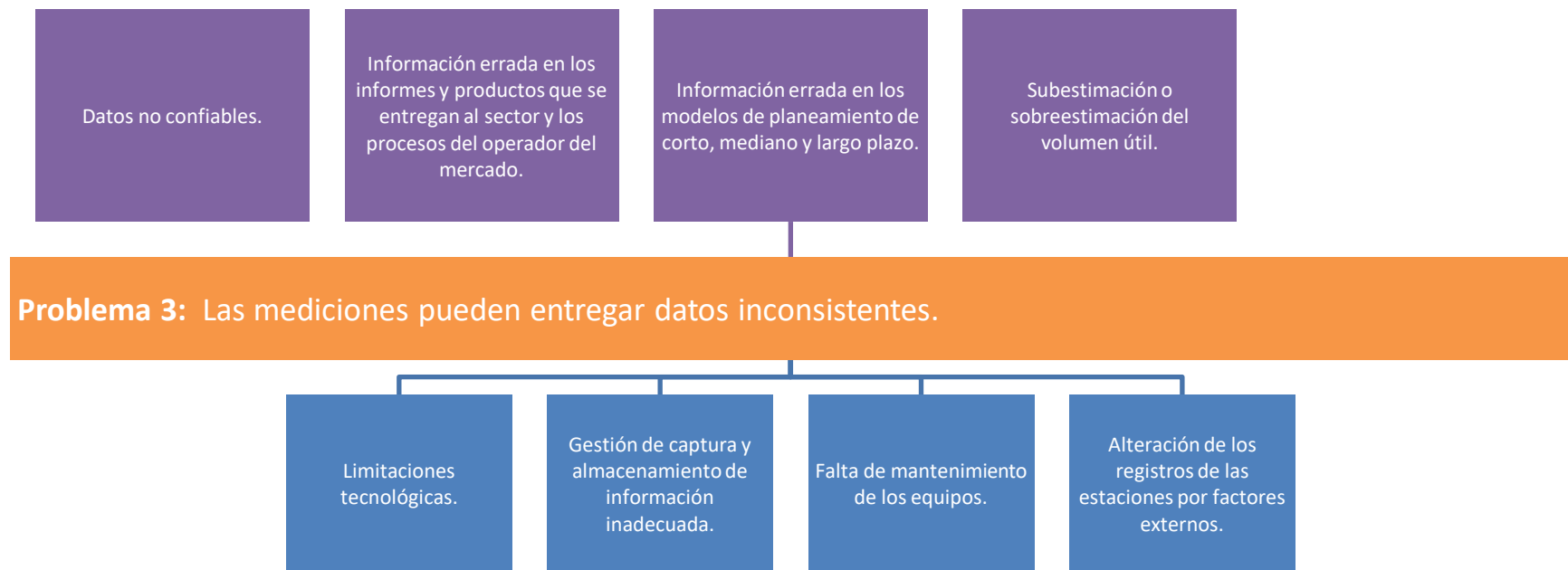


Figura 17 Árbol de problema 3 para la variable volumen

Este problema tiene asociadas diferentes causas:

- **Limitaciones tecnológicas.** Los sensores de medición de nivel trabajan bajo ciertas características físicas y en cierto rango de medición que si es sobrepasado podrían generar datos de mala calidad e inducir a errores.
- **Gestión de captura y almacenamiento de información inadecuada.** En el caso de mediciones manuales de nivel, se podrían tener errores por parte del observador al no cumplir con los protocolos de toma y registro de información, al leer mal la mira, transcribir los datos de planillas diligencias a formatos digitales o al transmitir la información al centro de control. Incluso los errores se podrían presentar aun siguiendo los protocolos, debido al factor humano. En el caso de mediciones automáticas, se podrían tener errores por falta de controles automáticos y supervisados tanto en la toma de datos como en la validación de estos. También se pueden presentar errores, cuando se hacen ajustes a la información operativa, dentro de los 7 primeros días del mes siguiente al reporte de información; en estos casos ha ocurrido que, en el momento de corregir algún dato en las bases de datos, por error humano se ingresan datos errados o con formatos diferentes que finalmente generan inconsistencias en la información del sistema.
- **Falta de mantenimiento de los equipos.** La falta de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos podría generar descalibración de los equipos y por ende datos inconsistentes o erróneos. El reglamento de medición debe definir para cada sistema de medición las mejores prácticas relacionadas con el mantenimiento de los equipos.
- **Alteración de los registros de las estaciones por factores externos.** La localización de las estaciones de medición las hace susceptibles a eventos que alteran los sensores tales como descargas eléctricas, movimientos en masa y vandalismo entre otros.

Las consecuencias de este problema son las siguientes:

- **Datos no confiables.** Estos datos podrían afectar los análisis de calidad de la serie histórica, al catalogarlos como anómalos sin serlo o viceversa.
- **Información errada en los informes y productos que se entregan al sector y los procesos del operador del mercado.** Un dato de mala calidad del volumen de embalse podría conducir a errores en la estimación del recurso hídrico con el que cuenta el SIN e incluso podría tener repercusiones en procesos del operador del mercado como: i) la compra de Energía Vendida y Embalsada (EVE), en caso que el estado del estatuto de desabastecimiento se encuentre en Riesgo, no aplica para los estados Vigilancia o

Normalidad¹; ii) la toma de decisiones de exportación de energía, debido a que si el nivel del embalse es inferior al Nivel ENFICC Probabilístico (NEP) y tiene un precio de oferta fuera de mérito, el recurso no puede ser tenido en cuenta para la atención de demanda internacional; iii) en la estimación del precio de reconciliación positiva del recurso, debido a que dicha estimación incluye la comparación del volumen del embalse con el Nivel de Probabilidad de Vertimiento (NPV) declarado por el agente.

- **Información errada en los modelos de planeamiento de corto, mediano y largo plazo.** Al ser el volumen una condición inicial de los modelos de planeamiento, la mala estimación de esta variable podría tener consecuencias en las proyecciones energéticas. Las implicaciones en los modelos por posibles errores en la variable volumen de embalse podrían ser evaluadas mediante un análisis de sensibilidad para evaluar la magnitud de los efectos.
- **Subestimación o sobreestimación del volumen útil.** El reporte de datos de volumen útil diario entregado por los agentes sin estándares de calidad definidos, podría generar sesgos en los resultados del planeamiento operativo indicativo, ya que la condición inicial del embalse afecta las decisiones del modelo en cuanto al embalsamiento a lo largo de la simulación.

3.4. Árboles de problema asociados a los vertimientos.

Los vertimientos son la cantidad de agua que debe ser evacuada de los embalses por medio de los vertederos cuando la reserva sobrepasa la capacidad máxima de almacenamiento o se encuentra muy cercana de ella, generalmente durante las temporadas de lluvia.

Los vertederos son una estructura hidráulica construida para permitir el paso libre o controlado del agua almacenada en un embalse, cuando se alcanzan niveles altos en el mismo.

Existen diferentes estructuras de vertimiento. En Colombia los tipos de vertederos más utilizados son los de borde libre, vertederos con compuertas y vertederos con diques fusibles.

- **Vertederos de borde libre:** El agua pasa libremente por encima de ellos una vez el embalse supera la cota de dicha estructura.

¹ El nivel del embalse diario se utiliza en el mecanismo para el sostenimiento de la confiabilidad establecido en el estatuto de riesgo de desabastecimiento. Una vez activado el estatuto de riesgo de desabastecimiento, se procede con el cálculo de asignación y entrega de EVE, el cual define la energía que puede asignarse al agente para que esta sea embalsada y entregada al SIN de forma posterior. El cálculo de la energía remanente o disponible para embalsar se estima por medio del NEP (Nivel ENFICC Probabilístico), los compromisos de EVE adquiridos anteriormente por el agente y el nivel de embalse diario reportado para cada embalse.

- **Vertederos con compuertas:** Son aquellos que pueden controlar el vertimiento abriendo parcial o totalmente sus compuertas. Estos vertederos no tienen que esperar a que el embalse llegue a su nivel máximo de operación para iniciar la apertura de sus compuertas; la operación se inicia anticipadamente buscando regular la descarga del caudal y mantener el nivel del embalse y de esta forma continuar regulando las crecientes.
- **Vertedero con diques fusibles:** Este tipo de vertedero se compone de unidades independientes que colapsan cuando el nivel del agua en el embalse alcanza una cota determinada, permitiendo que el flujo se descargue aguas abajo, a través del espacio liberado por cada unidad.

A continuación, se describen las principales problemáticas relacionadas con la medición y estimación de los caudales vertidos, las diferentes causas que originan dichos problemas y las posibles consecuencias de estos.

3.4.1. Problema 1. Limitaciones en el uso de la curva de calibración del vertedero para estimar el vertimiento.

Debido a las dificultades para medir los vertimientos, en la mayoría de las condiciones se hace necesario estimarlos de manera indirecta, y una de las formas de hacerlo es utilizando las curvas de calibración de los vertederos. No obstante lo anterior, el utilizar las curvas de calibración presenta algunas limitaciones que hace que la estimación de los vertimientos no sea completamente precisa.

En la Figura 18 se presenta el árbol del problema con las principales causas que limitan el uso de la curva de calibración del vertedero para estimar el vertimiento del embalse.

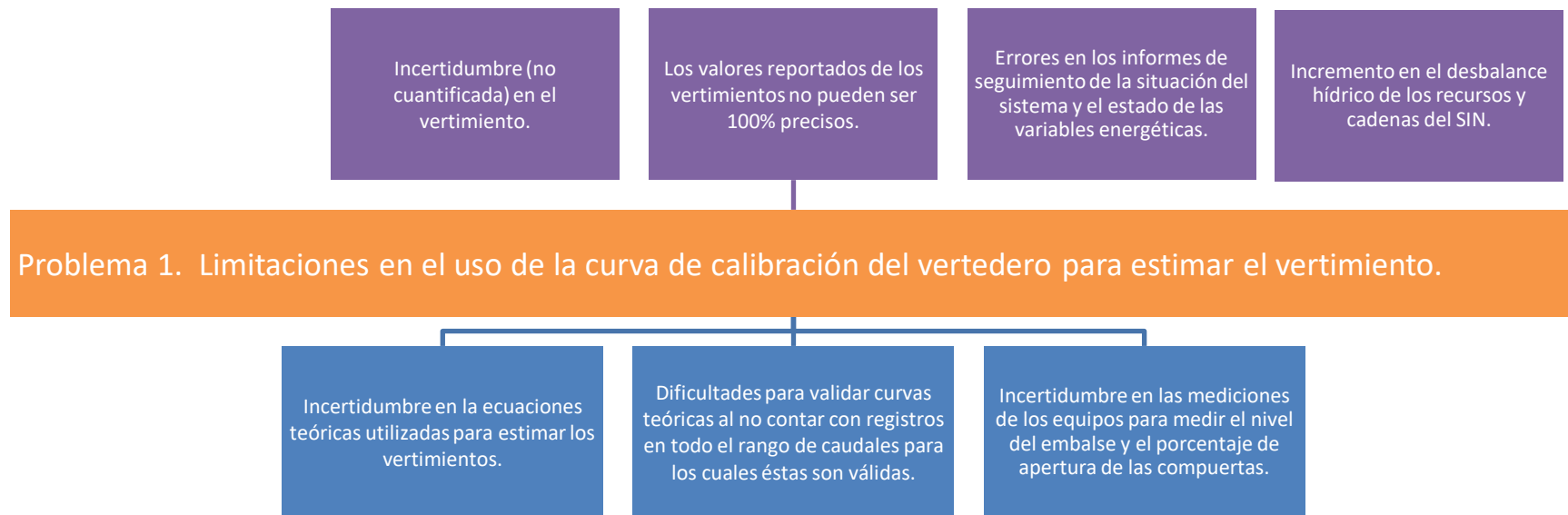


Figura 18 Árbol de problema 1 para la variable vertimientos

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Incertidumbre en las ecuaciones teóricas utilizadas para estimar los vertimientos.** Las ecuaciones para estimar los vertimientos se obtienen cuando se lleva a cabo el diseño de la estructura; sin embargo, estas curvas o ecuaciones tienen implícita una incertidumbre, la cual no está cuantificada y es compleja de establecer por las particularidades de cada estructura.
- **Dificultades para validar las curvas teóricas al no contar con registros en todo el rango de caudales para los cuales éstas son válidas.** Para validar las curvas teóricas se requiere realizar mediciones puntuales de los caudales vertidos para comparar los resultados contra las curvas teóricas, en diferentes niveles de vertimiento. Sin embargo, la realización de tales aforos no es posible en los vertederos por los riesgos debidos a la alta turbulencia del agua, tanto para los operarios como para los equipos; adicionalmente, los vertimientos ocurren con poca periodicidad en la mayoría de los embalses y en rangos generalmente reducidos en relación con toda la capacidad del vertedero, lo que limita aún más la posibilidad de verificar las curvas teóricas.
- **Incertidumbre en las mediciones de los equipos para medir el nivel del embalse y el porcentaje de apertura de las compuertas.** Las mediciones con los equipos utilizados para medir el nivel de embalse y apertura de compuertas tienen implícitas algunas incertidumbres que se trasladan a la estimación de los vertimientos.

Las principales consecuencias identificadas para este problema son:

- **Incertidumbre (no cuantificada) en el vertimiento.** Se requiere un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales, y que permita de acuerdo con la medición, cuantificar los rangos de incertidumbre admisibles para cada variable, con el fin de garantizar la calidad y confiabilidad de los datos hidrológicos para los análisis y modelos de planeamiento.
- **Los valores reportados de los vertimientos no pueden ser 100% precisos.**
- **Errores en los informes de seguimiento de la situación del sistema y el estado de las variables energéticas.** Los datos reportados sin un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales que aseguren su calidad, pueden generar errores en diferentes informes de seguimiento de la situación del sistema. Aunque actualmente la información puede ser corregida de forma posterior, no existe un procedimiento que permita garantizar que hubo una mejora en la información. Adicionalmente, existe el riesgo de entregar una señal inoportuna e inadecuada a los diferentes actores del sector.
- **Incremento en el desbalance hídrico de los recursos y cadenas del SIN.** Cuando no se pueden medir el vertimiento de forma directa y estos se estiman por algún método

indirecto, la incertidumbre en la medición de la variable es mayor y esta aporta a su vez al error en la ecuación del balance de masa

3.4.2. Problema 2. Dificultad para medir directamente los vertimientos.

Como se indicó anteriormente, debido a las características físicas de las estructuras de vertimiento, en las cuales se generan flujos de agua altamente turbulentos y con grandes velocidades, no es posible realizar de manera adecuada la medida directa de los caudales vertidos, por lo que generalmente se estiman los vertimientos de manera indirecta a partir de ecuaciones teóricas que relacionan el caudal vertido con la altura de la lámina de agua en el embalse para los vertederos de flujo libre, o la altura de la lámina de agua en el embalse y/o el porcentaje de apertura de compuertas en el caso de vertederos equipados con compuertas, o con estaciones aguas abajo del sitio de vertimiento cuando esto es posible.

En la Figura 19 se presenta el árbol del problema con las principales causas que limitan o hacen inviable la medición de los vertimientos con las respectivas consecuencias:

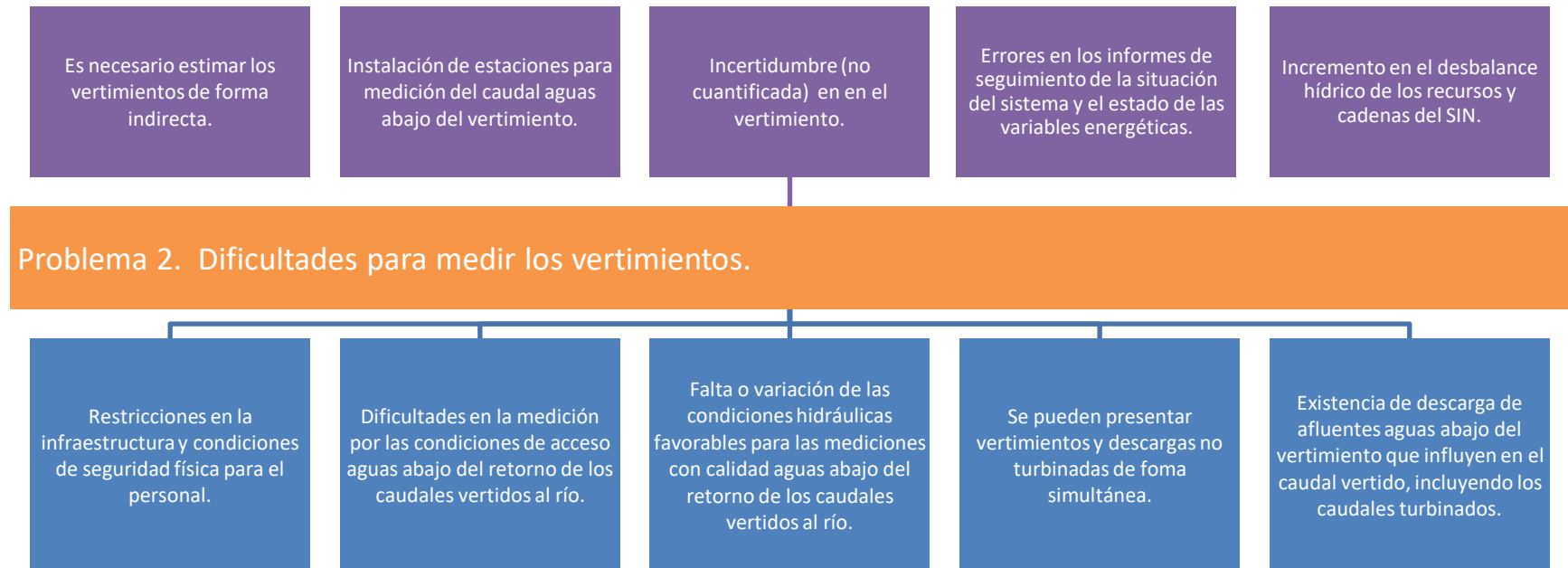


Figura 19 Árbol de problema 2 para la variable vertimientos

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Restricciones en la infraestructura y condiciones de seguridad física para el personal.** Debido a las características físicas de las estructuras de vertimiento, donde se generan flujos de agua altamente turbulentos y con grandes velocidades, no es posible realizar de manera adecuada la medida directa de los caudales vertidos. En ocasiones incluso no es posible ingresar en forma segura con los equipos de aforo al vertedero para realizar la medición del caudal, dado que no se cuenta con un puente o estructura para operar los equipos de medición, y en momentos de altos vertimientos el riesgo de realizar aforos es muy alto, tanto para los operarios como para los equipos.
- **Dificultades en la medición por las condiciones de acceso aguas abajo del retorno de los caudales vertidos al río.** En ocasiones no es posible ingresar en forma segura con los equipos de aforo al río aguas abajo del retorno de los caudales vertidos para realizar la medición de estos, dado que no se cuenta con un puente o estructura para operar los equipos de medición y en situaciones de grandes vertimientos o en época de invierno, cuando se presentan grandes crecientes, el riesgo de realizar aforos es muy alto, tanto para los operarios como para los equipos.
- **Falta o variación de condiciones hidráulicas favorables para las mediciones con calidad aguas abajo del retorno de los caudales vertidos al río.** Como ya se ha mencionado en varios problemas, la ubicación de una estación requiere de unas condiciones hidráulicas y geomorfológicas especiales, de manera que se logre tener una curva de calibración en la que la relación nivel - caudal sea estable. Esta condición no siempre es posible encontrarla en los ríos, debido a que es común la presencia de lechos móviles en las corrientes o se carece de un tramo que cumpla con las características hidráulicas requeridas, por lo que no es posible entonces la instalación de una estación para obtener información confiable.
- **Se pueden presentar vertimientos y descargas no turbinadas de forma simultánea.** Se puede dar el caso en que se presenten vertimientos y descargas no turbinadas de manera simultánea, y dependiendo de la disposición de las estructuras de descarga esto puede dificultar la medición del caudal vertido aguas abajo del vertimiento.
- **Existencia de descarga de afluentes aguas abajo del vertimiento que influyen en el caudal vertido, incluyendo los caudales turbinados.** Dependiendo de las características del sitio de descarga de los vertimientos se pueden presentar dificultades en su medición debido a la influencia de afluentes y del mismo caudal turbinado.

Este problema conlleva a varias consecuencias:

- **Es necesario estimar los vertimientos de forma indirecta.** Dado que en la mayoría de los casos no es posible realizar de manera adecuada la medida directa de los caudales vertidos es necesario estimarlos de manera indirecta a partir de ecuaciones

teóricas que relacionan el caudal vertido con la altura de la lámina de agua en el embalse para los vertederos a flujo libre, o la altura de la lámina de agua en el embalse y/o el porcentaje de apertura de compuertas en el caso de vertederos equipados con compuertas.

La obtención de estas ecuaciones se lleva a cabo durante el diseño y construcción de los proyectos hidroeléctricos, por parte de firmas expertas en consultoría, quienes utilizan las mejores técnicas de la ingeniería y en ocasiones modelos físicos a escala para el diseño y dimensionamiento de los vertederos; al final del proceso se obtienen ecuaciones o curvas de calibración (tanto para vertederos a flujo libre como para vertederos con estructuras de control como compuertas) que permiten estimar el caudal vertido en la estructura a partir del nivel del embalse con una muy buena aproximación al valor real del caudal vertido.

- **Instalación de estaciones para medición de caudal aguas abajo del vertimiento.** Una manera alterna de realizar mediciones de los caudales vertidos de manera indirecta consiste en instalar estaciones hidrométricas aguas abajo del sitio de vertimiento siempre y cuando las condiciones lo permitan.
- **Incertidumbre (no cuantificada) en el vertimiento.** Se requiere un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales, y que permita de acuerdo con la medición, cuantificar los rangos de incertidumbre admisibles para cada variable, con el fin de garantizar la calidad y confiabilidad de los datos hidrológicos para los análisis y modelos de planeamiento.
- **Errores en los informes de seguimiento de la situación del sistema y el estado de las variables energéticas.** Los datos reportados sin un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales que aseguren su calidad, pueden generar errores en diferentes informes de seguimiento de la situación del sistema. Aunque actualmente la información puede ser corregida de forma posterior, no existe un procedimiento que permita garantizar que hubo una mejora en la información. Adicionalmente, existe el riesgo de entregar una señal inoportuna e inadecuada a los diferentes actores del sector.
- **Incremento en el desbalance hídrico de los recursos y cadenas del SIN.** Cuando no se pueden medir el vertimiento de forma directa y estos se estiman por algún método indirecto, la incertidumbre en la medición de la variable es mayor y esta aporta a su vez al error en la ecuación del balance de masa.

3.4.3. Problema 3: Dependencia de información de terceros.

Normalmente los agentes tienen estimaciones propias de los vertimientos asociados a las plantas de generación. Sin embargo, en aquellos casos en los que los embalses son de propiedad de un tercero, pero están asociados indirectamente a un sistema de generación, se hace uso de la información de vertimientos diarios de las otras entidades. En todo caso, los agentes están en la obligación de garantizar la calidad de la información reportada de los vertimientos. En la Figura 20 se presenta el árbol del problema con las principales causas de la dependencia de terceros para la información de vertimientos, y sus respectivas consecuencias.



Figura 20 Árbol de problema 3 para la variable vertimientos

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Embalses que son propiedad de terceros.** Las entidades propietarias de los embalses poseen sistemas propios de medición y estimación, y comparten la información con los agentes.
- **Seguridad de equipos y personal.** En caso de medir los caudales vertidos aguas abajo del sitio de vertimiento a través de estaciones hidrométricas, en algunos casos podría ser necesario entregar la operación de las estaciones de medición a otras entidades por temas de seguridad de los equipos o del personal de la empresa.

Las principales consecuencias identificadas para este problema son:

- **Puede no contarse con la información oportunamente.** La información de medición y/o estimación de vertimientos de otras entidades no necesariamente está disponible en tiempo real y por tanto puede no tenerse con la oportunidad requerida.
- **No se tiene control sobre la calidad de la información recibida ni de su incertidumbre.** No se tiene control sobre la calidad de la información de vertimientos recibida. Se asume que es de buena calidad.
- **En caso de tener protocolos de medición de niveles no se podría garantizar el cumplimiento de estos.** Dado que el agente no es quien realiza directamente la medición o estimación de los vertimientos y depende de un tercero, no podría exigírsele a este tercero que cumpla con un protocolo de medición.
- **Incremento en el desbalance hídrico de los recursos y cadenas del SIN.** Cuando no se pueden medir el vertimiento de forma directa y estos se estiman por algún método indirecto, la incertidumbre en la medición de la variable es mayor y esta aporta a su vez al error en la ecuación del balance de masa.
- **Errores en los informes de seguimiento de la situación del sistema y el estado de las variables energéticas.** Los datos reportados sin un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales que aseguren su calidad, pueden generar errores en diferentes informes de seguimiento de la situación del sistema. Aunque actualmente la información puede ser corregida de forma posterior, no existe un procedimiento que permita garantizar que hubo una mejora en la información. Adicionalmente, existe el riesgo de entregar una señal inoportuna e inadecuada a los diferentes actores del sector.

3.5. Árboles de problema asociados a las descargas no turbinadas.

Como se indicó en el contexto operativo, las descargas no turbinadas corresponden a caudales descargados a través de compuertas intermedias o descargas de fondo. Estas descargas corresponden a agua embalsada que se extrae del sistema sin ser aprovechada para generación de energía y es una variable diferente al vertimiento. Normalmente se reportan en unidad de volumen por unidad de tiempo ($\text{Mm}^3/\text{día}$), aunque en ocasiones solo se contabilizan como volumen.

En el estudio de la UNAL “Cuantificación de las Incertidumbres Asociadas a los Balances Energéticos del SIN” luego de la información recolectada con cada uno de los agentes se encontró que en diferentes centrales se tienen descargas no turbinadas agrupadas en los siguientes tipos:

- Descargas de fondo (variable que se incluye en la resolución de la CREG 025 de 1995).
- Descargas intermedias.
- Captaciones y/o transvases para usos diferentes a la generación en la central.
- Caudal ecológico o ambiental.

Como recomendación de dicho estudio se sugirió a las centrales del SIN que actualmente no reportan este tipo de información, se haga el ajuste requerido de las topologías de éstas incluyendo sus descargas no turbinadas, y se reporte este tipo de información al CND, incluyendo la categoría de las mismas.

A continuación, se describen las principales problemáticas relacionadas con la medición y estimación de las descargas no turbinadas, las diferentes causas que originan dichos problemas y las posibles consecuencias de estos.

3.5.1. Problema 1. Dificultades para medir directamente las descargas no turbinadas.

Debido a las características físicas de las estructuras de las descargas no turbinadas, se pueden generar condiciones de alta turbulencia y/o grandes velocidades; estas características del flujo restringen las opciones técnicas para la medición de manera directa de forma adecuada; esta situación a veces se resuelve a través de estimaciones indirectas, normalmente mediante el uso de ecuaciones que relacionan el caudal descargado con la altura de la lámina de agua en el embalse y/o el porcentaje de apertura de compuertas o válvulas o también a través de la medición de caudales en estaciones aguas abajo del sitio de descarga.

En la Figura 21 se presenta el árbol del problema, con las principales causas y sus consecuencias.

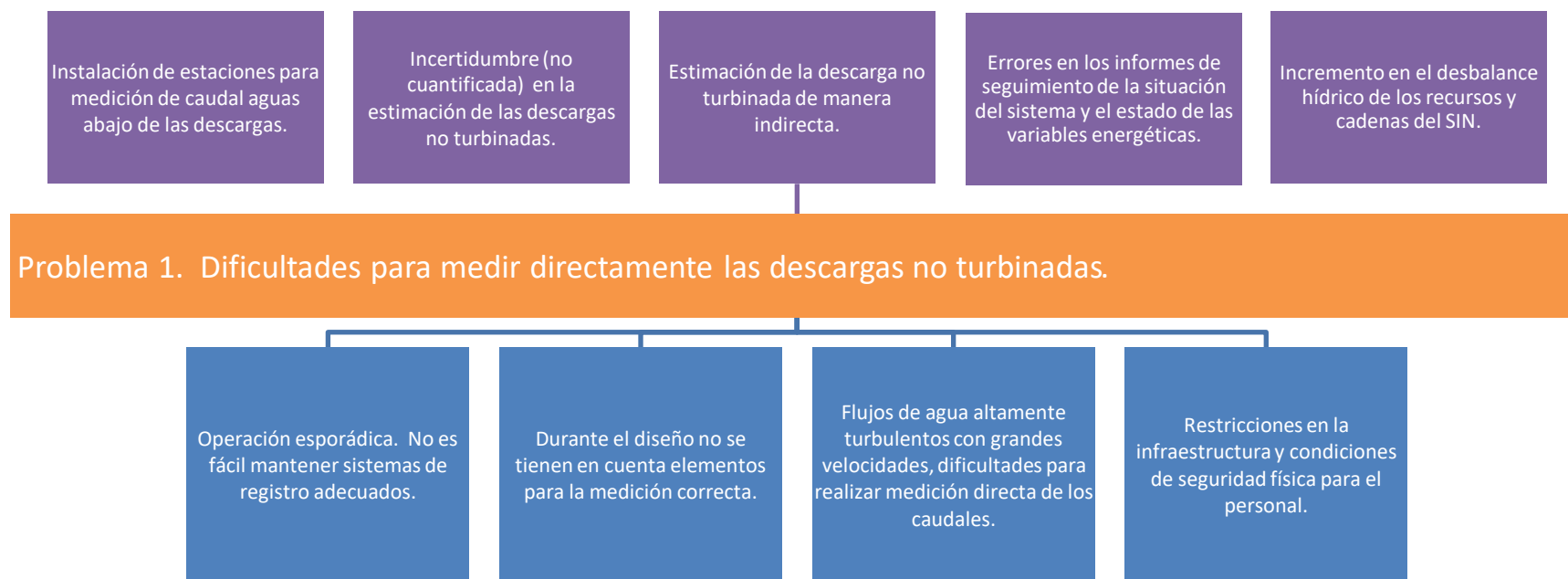


Figura 21 Árbol de problema 1 para la variable descarga no turbinada

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Operación esporádica. No es fácil mantener sistemas de registro adecuados.** Estas estructuras suelen ser elementos cuya operación es esporádica (exceptuando las relacionadas a los caudales ecológicos), incluso, como es el caso de las descargas de fondo, solo operan ante una situación de riesgo o nunca han sido operadas. Debido a lo anterior, se hace complicado mantener sistemas de registro adecuados, puesto que, por su baja operación, no se pueden calibrar ni verificar a nivel operativo, y en otras ocasiones las condiciones de las conducciones, válvulas, sistema de descarga suelen cambiar.
- **Durante el diseño no se tienen en cuenta elementos para la medición correcta.** Normalmente durante el diseño no se tiene en cuenta la necesidad de instalar equipos para la medición de estas descargas ni se instalan durante la construcción de los proyectos, por lo que su implementación futura no suele ser posible técnicamente, dado que no se dispone de un lugar apropiado técnicamente que permita instalar sensores u otro tipo de equipos de monitoreo.
- **Flujos de agua altamente turbulentos con grandes velocidades, dificultades para realizar medición directa de los caudales.** Debido a las características físicas de las estructuras de descargas, normalmente se generan flujos de agua altamente turbulentos y con grandes velocidades; este tipo de condiciones no son apropiadas para la instalación de equipos de medición en este tipo de estructuras, lo que impide la medida directa de los caudales descargados.
- **Restricciones en la infraestructura y condiciones de seguridad física para el personal.** Paralelo con la causa anterior, muchos de los caudales generados por estas descargas son de magnitud y de características físicas importantes, por lo que no hay forma de operar por parte del personal de manera segura equipos para la medición, esto también incluye dificultades en los accesos a las descargas, y restricciones ambientales.

Las principales consecuencias identificadas para este problema son:

- **Instalación de estaciones para medición de caudal aguas abajo de las descargas.** Una manera alterna de realizar mediciones de los caudales descargados consiste en instalar estaciones hidrométricas aguas abajo de las descargas, normalmente en el cauce del afluente cuando las condiciones lo permiten. En ocasiones esto trae otras dificultades como la posibilidad que se midan caudales naturales aguas abajo o la simultaneidad de medición en el sitio con los caudales de vertimiento o turbinados.
- **Incertidumbre (no cuantificada) en la estimación de las descargas no turbinadas.**
- **Estimación de la descarga no turbinada de manera indirecta.** Debido a lo expresado en las causas, en muchas ocasiones no es posible realizar de manera adecuada la

medida directa de los caudales descargados y se hace necesario estimarlos de manera indirecta a partir de ecuaciones teóricas que relacionan el caudal descargado con la altura de la lámina de agua en el embalse y/o el porcentaje de apertura de compuertas o válvulas. Normalmente la determinación de estas ecuaciones se realiza de manera teórica en la fase de diseño, y permiten estimar el caudal descargado por el sistema con una aproximación relativamente buena al valor real.

- **Errores en los informes de seguimiento del estado de variables energéticas.** Asociado a la consecuencia anterior, los datos reportados sin un procedimiento de medición que asegure su calidad (determinar incertidumbre, rangos de medición y errores o desviación en los registros) pueden generar errores en diferentes informes de seguimiento del estado de variables energéticas.
- **Incremento en el desbalance hídrico de los recursos y cadenas del SIN.** Cuando no se pueden medir las descargas de forma directa y estos se estiman por algún método indirecto, la incertidumbre en la medición de la variable es mayor y esta aporta a su vez al error en la ecuación del balance de masa.

3.5.2. Problema 2. Limitaciones en el uso de la curva de calibración de las estructuras para estimar la descarga no turbinada.

Debido a las dificultades para medir las descargas no turbinadas, en la mayoría de las ocasiones se hace necesario estimar estos caudales de manera indirecta, y una de las formas de hacerlo es utilizando las curvas teóricas de calibración de las válvulas y compuertas con las que se permite la salida del agua. El uso de curvas teóricas presenta algunas limitaciones que hace que las estimaciones de las descargas no sean completamente precisas, similar a lo que se presenta en los vertimientos.

En la Figura 22 se presenta el árbol del problema con las principales causas y consecuencias asociadas a este problema.

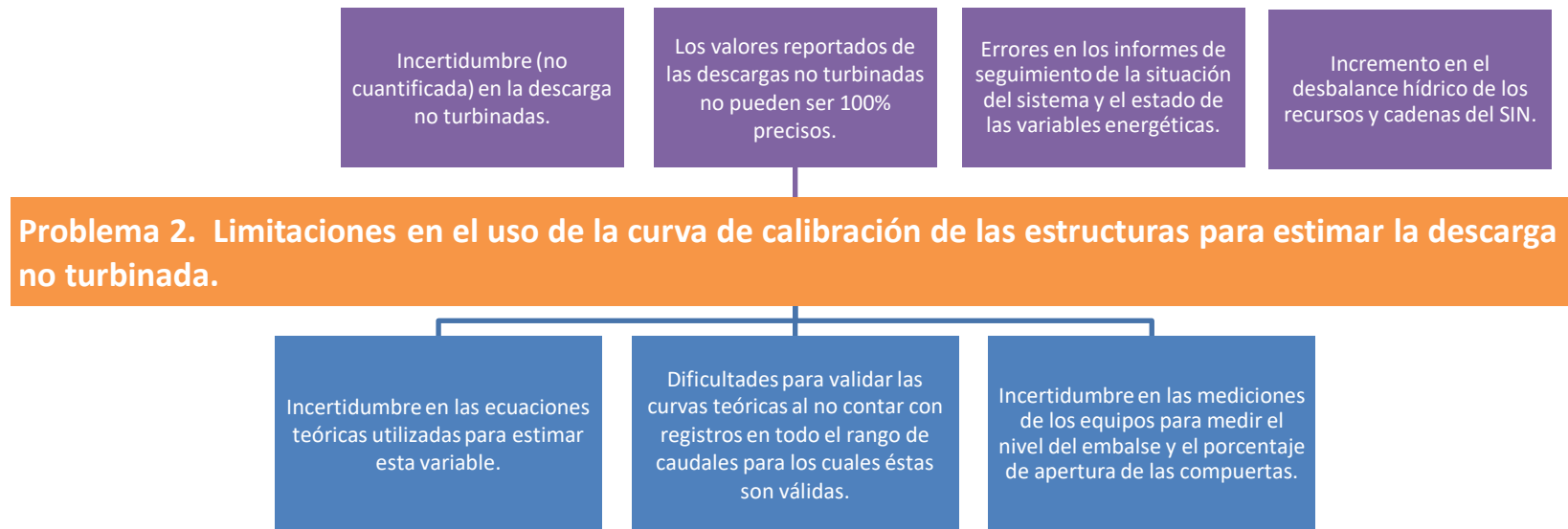


Figura 22 Árbol de problema 2 para la variable descarga no turbinada

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Incertidumbre en las ecuaciones teóricas utilizadas para estimar esta variable.** Como se indicó, las ecuaciones para estimar las descargas no turbinadas se obtienen cuando se lleva a cabo el diseño de todo el sistema; sin embargo, estas curvas o ecuaciones tienen implícita una incertidumbre, la cual no está cuantificada y es compleja de establecer por las particularidades de cada estructura, tampoco es usual hacer ajustes o calibraciones posteriores por las dificultades en las mediciones directas.
- **Dificultades para validar las curvas teóricas al no contar con registros en todo el rango de caudales para los cuales éstas son válidas.** Para validar las curvas teóricas se requiere realizar mediciones puntuales de los caudales descargados para comparar los resultados contra las curvas teóricas. Como se indicó anteriormente, la realización de tales aforos o verificaciones no es posible por los riesgos debidos a la alta turbulencia del agua, tanto para los operarios como para los equipos.
- **Incertidumbre en las mediciones de los equipos para medir el nivel del embalse y el porcentaje de apertura de las compuertas.** Las mediciones con los equipos utilizados para medir de manera indirecta las descargas (como el nivel de embalse y apertura de compuertas y válvulas) tienen implícitas algunas incertidumbres que se trasladan, se incrementan o se transforman al momento de la estimación de las descargas.

Las principales consecuencias identificadas para este problema son:

- **Incertidumbre (no cuantificada) en la descarga no turbinada**
- **Los valores reportados de las descargas no turbinadas no pueden ser 100% precisos.**
- **Errores en los informes de seguimiento de la situación del sistema y el estado de las variables energéticas.** Los datos reportados sin un procedimiento estandarizado que considere las mejores prácticas internacionales que aseguren su calidad, pueden generar errores en diferentes informes de seguimiento de la situación del sistema. Aunque actualmente la información puede ser corregida de forma posterior, no existe un procedimiento que permita garantizar que hubo una mejora en la información. Adicionalmente, existe el riesgo de entregar una señal inoportuna e inadecuada a los diferentes actores del sector.
- **Incremento en el desbalance hídrico de los recursos y cadenas del SIN.** Cuando no se pueden medir las descargas no turbinadas y estas se estiman por algún método indirecto, la incertidumbre en la medición de la variable es mayor y esta aporta a su vez al error en la ecuación del balance de masa.

3.5.3. Problema 3. Falta de registro de algunas de las descargas no turbinadas empleadas para usos diferentes a la generación en la central o en servicios complementarios.

Dentro del mencionado estudio de la Universidad Nacional se indicó que existen varias descargas no turbinadas que no son reportadas, esto debido a que muchas no son consideradas descargas como tal, sino que son captaciones, mediciones o elementos que son usados para servicios dentro de la central o cerca de ella, algunas sin retorno directo al cauce.

Otras de estas descargas son los valores que se contabilizan de filtraciones en presas o similares que normalmente son valores muy pequeños comparados con los valores del volumen almacenado, los caudales turbinados o de los vertimientos.

En la Figura 23 se presenta el árbol del problema con las principales causas y consecuencias asociadas a este problema.

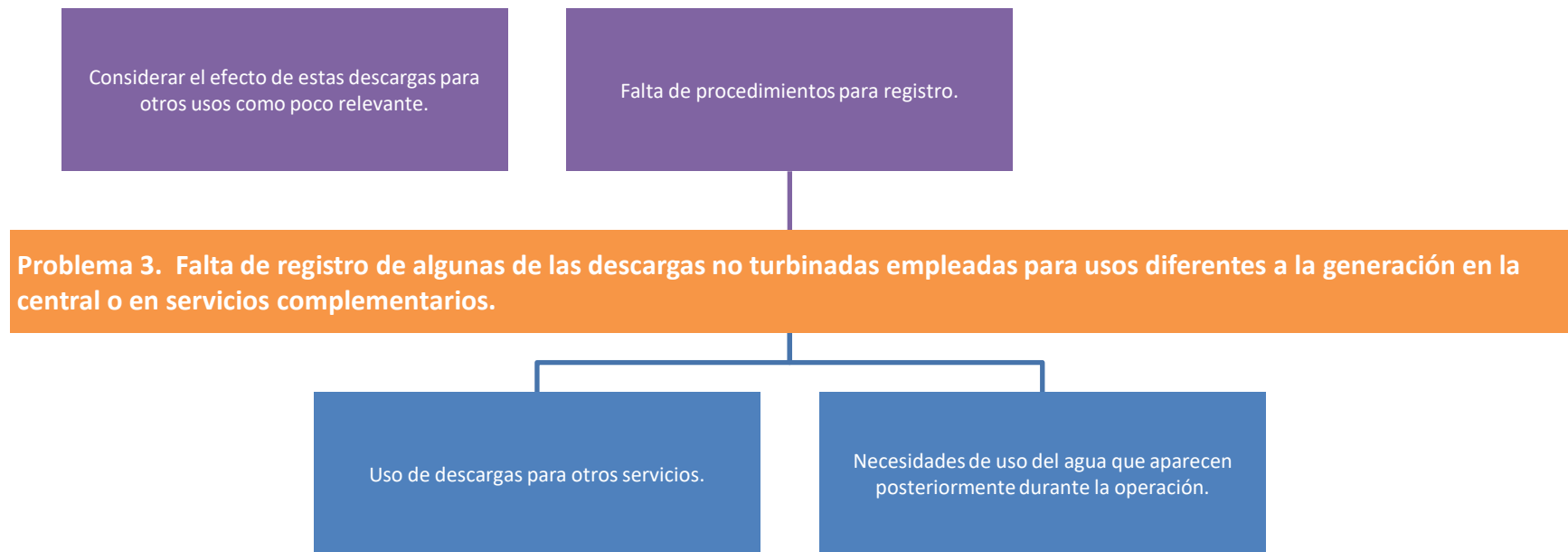


Figura 23 Árbol de problema 3 para la variable descarga no turbinada

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Uso de descargas para otros servicios.** Algunas de estas descargas se usan para otros servicios (como por ejemplo abastecimiento de agua), por lo que se considera que su efecto en el volumen es casi nulo.
- **Necesidades de uso del agua que aparecen posteriormente durante la operación.** Algunos servicios, usos o necesidades (algunas de la comunidad) aparecen posteriormente al inicio de la operación. Nuevamente estas descargas son consideradas muy pequeñas por lo que no se contabiliza.

Las principales consecuencias identificadas para este problema son:

- **Considerar el efecto de estas descargas para otros usos como poco relevante.** Considerar como no relevante el efecto de algunas estructuras de descargas no turbinadas usadas para propósitos diferentes a la generación, y por ende no contabilizarlas.
- **Falta de procedimientos para registro.** Falta de un procedimiento para registrar (no para reportar) estos usos o descargas que son consideradas muy pequeñas comparadas con los volúmenes, caudales turbinados o vertimientos. Es necesario determinar elementos que indiquen cuando es importante reportarlos en los valores operativos.

3.6. Árboles de problema asociados a factores de conversión

El factor de conversión FC de la planta es la relación entre la potencia eléctrica generada neta y la unidad de caudal necesario para generar esa potencia, para una cabeza hidráulica determinada. Expresándose en $MW/(m^3/s)$.

Para la cuantificación de este parámetro, y conforme a lo descrito en el Protocolo de cálculo incluido en el Acuerdo CNO 694, se puede requerir de una o más pruebas en campo para la obtención de la curva del factor de conversión versus el nivel de embalse, curva a partir de la cual se obtiene el Factor de Conversión Medio de la planta, y con el cual se puede expresar las diferentes variables involucradas en el balance hídrico en términos de energía.

A continuación, se describen las principales problemáticas relacionadas con la medición y estimación del factor de conversión, las diferentes causas que originan dichos problemas y sus posibles consecuencias.

3.6.1. Problema 1: Simplificación de la curva del factor de conversión.

Para la estimación del Factor de Conversión Medio de la planta es necesario construir la curva del factor de conversión versus el nivel de embalse. Para construir esta función, se requiere de la medición de la energía en la frontera comercial y del caudal requerido para dicha generación, a diferentes niveles de embalse, los cuales son determinados a partir del protocolo vigente (Acuerdo CNO 694). Este protocolo establece que el número mínimo de puntos requerido para construir dicha curva es de tres. En algunos casos, en particular para embalses con períodos de tiempo de regulación mayor, o por su importancia estratégica, los niveles del mismo rara vez descienden cerca del nivel mínimo técnico, lo cual puede impedir la realización de pruebas del FC en estos niveles. Por lo tanto, la curva así obtenida no representaría de la mejor manera la variación de este parámetro en función del nivel de embalse.

En la Figura 24 se presenta el árbol del problema con las principales causas y consecuencias asociadas a este problema.

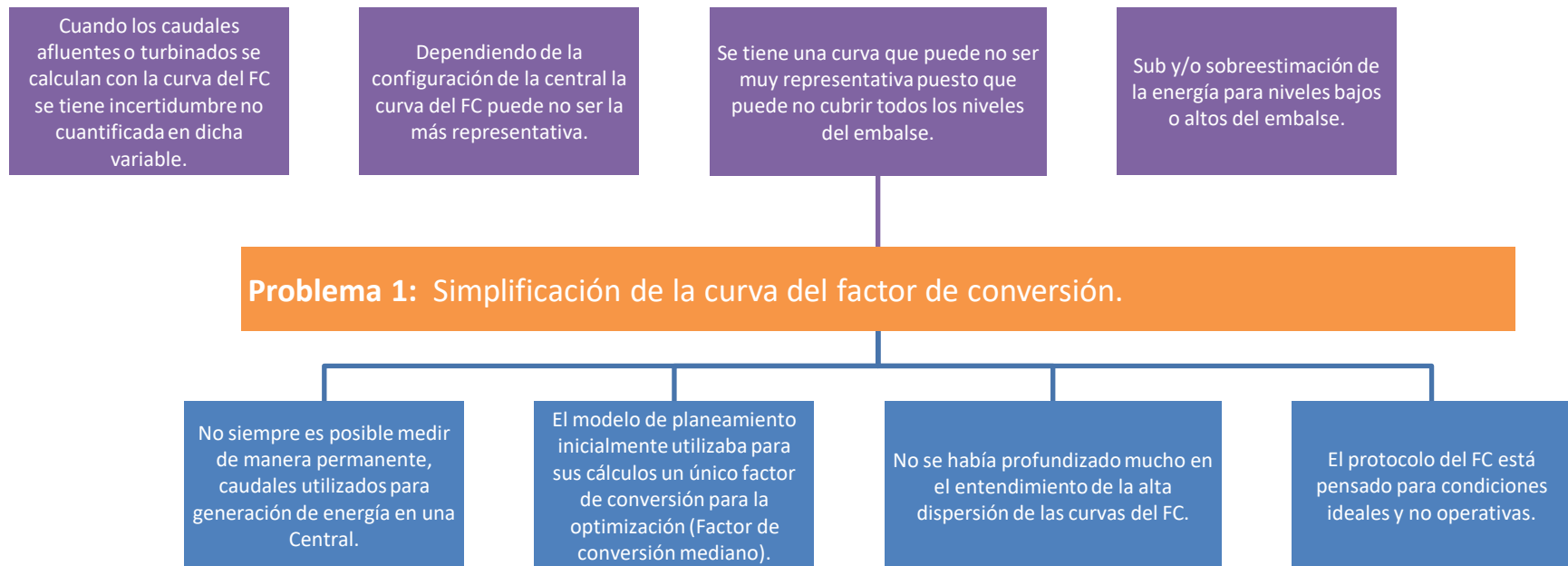


Figura 24 Árbol de problema 1 para la variable factor de conversión

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **No siempre es posible medir de manera permanente, caudales utilizados para generación de energía en una Central.** Para algunas centrales, la medición del caudal tanto en una estación aguas abajo como en la tubería de carga, se enfrenta a dificultades técnicas, tales como: (1) estaciones que por su ubicación aguas abajo de la descarga, involucran además otros aportes naturales afluentes formados entre el sitio de descarga y el punto de medición, lo cual impide separar el caudal turbinado del total; (2) estaciones que no cumplen con requerimientos hidrométricos mínimos: instrumentación descalibrada o deficiente, curvas de gasto desactualizadas, secciones inestables, tramos cortos de cauce, régimen torrencial, dificultades de acceso, dificultades para la medición directa mediante correntómetros o perfiladores acústicos de corriente (ADCP), etc.
- **El modelo de planeamiento inicialmente utilizaba para sus cálculos un único factor de conversión para la optimización (Factor de Conversión Mediano).** Usualmente se ha usado un único FC en la optimización dada la dificultad de convergencia que puede presentar el modelo. Si bien es posible utilizar un factor de conversión variable en ambas etapas de la modelación (política y simulación), el uso en la política además del aumento exponencial del tiempo de cómputo entraña además la posibilidad de no convergencia en algunos casos.
- **No se había profundizado mucho en el entendimiento de la alta dispersión de las curvas del FC.** La construcción en tiempo real de una curva $FC=f(\text{nivel de embalse})$, o factor de conversión operativo, muestra tener una gran dispersión de valores (ver Figura 25).

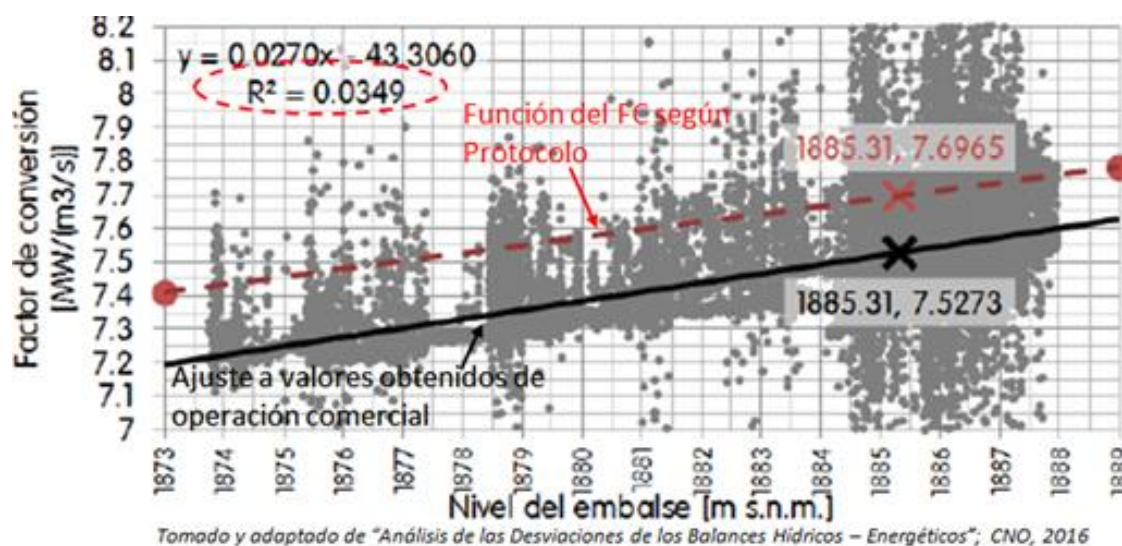


Figura 25 Factor de Conversión horario, Central Guatapé. Fuente: CNO, 2016

- **El protocolo del FC está pensado para condiciones ideales y no operativas.** En lo relacionado con la medición del caudal, el comportamiento del flujo dependerá de cuántas unidades estén en servicio, de la configuración, etapas o ramales de la conducción, del tipo de unidades y válvulas de control, apertura del distribuidor o inyectores, etc. Todo lo anterior en una condición real de operación influye en la variabilidad de los datos de caudal medidos, lo cual es diferente a la condición de pruebas tal y como está establecido en el protocolo establecido en el acuerdo CNO 694. Además, dicho protocolo establece la realización de pruebas independientes para cada unidad de generación. Si bien esto permite estimar la potencia real de cada unidad, las plantas operan con unidades de generación de manera simultánea bajo consideraciones muy particulares (no siempre operan las mismas unidades y bajo la misma carga). El protocolo permite dos opciones bien sea unidad por unidad o para toda la planta en su totalidad. La primera variante no refleja las condiciones reales de operación de una planta, en tanto que, en el último caso no siempre las plantas operan con todas las unidades de generación al mismo tiempo. Por otro lado, desde el punto de vista matemático, la construcción de la curva del FC versus nivel de embalse con sólo tres puntos puede no ser suficiente. Además, la franja de variación de los niveles del embalse durante los últimos cinco años no necesariamente cubre toda la franja de elevaciones ocupada por el volumen útil. En algunos casos la extrapolación de la curva de acuerdo con el mejor ajuste por parte de Auditor puede tener carácter subjetivo (lineal, exponencial, polinómica, etc).

Este problema conlleva a las siguientes consecuencias:

- **Cuando los caudales afluentes o turbinados se calculan con la curva del FC se tiene incertidumbre no cuantificada en dicha variable.** Cuando no se mide de manera directa el caudal afluente a un embalse y se estima mediante balance de energía, se tiene una incertidumbre asociada al uso de una función obtenida bajo las consideraciones arriba mencionadas. Lo mismo ocurre cuando los caudales turbinados son estimados a partir de la curva FC. Esta incertidumbre incrementa en la medida en que las variables no se obtengan a partir de mediciones directas.
- **Dependiendo de la configuración de la central la curva del FC puede no ser la más representativa.** Dependiendo de la configuración hidráulica de las plantas (tipo de conducción y tuberías de carga), durante la operación conjunta con las otras unidades, el salto neto disponible en cada unidad puede verse afectado. Es decir, se debe analizar que pasa en casos en los que las unidades comparten el mismo transformador, o comparten la misma conducción. Adicionalmente debe tenerse en cuenta las particularidades del tipo de turbina utilizado en una central. La eficiencia energética del FC para una turbina Pelton difiere para una turbina Francis.
- **Se tiene una curva que puede no ser muy representativa puesto que puede no cubrir todos los niveles del embalse.** Al ser permitido la realización de pruebas para

estimación del FC a partir de los niveles de embalse en los percentiles 25, 50, 75 y 90, no logra capturarse este parámetro para todo el espectro de fluctuación de dicho nivel, lo que implica incertidumbre para los niveles (o rango de niveles) que dejaron de incluirse en las pruebas. Como se ha mencionado anteriormente, el protocolo permite la medición en al menos tres (3) puntos del embalse (dependiendo de las particularidades de la variabilidad de su nivel de los últimos años), la curva del factor de conversión se estima con un limitado número de niveles del embalse y por ende la medición del caudal está asociada a la condición de eficiencia de las turbinas en cada uno de dichos niveles. Por lo anterior en los niveles cercanos al máximo y mínimo técnico, en los cuales la curva del factor es extrapolada, los valores de caudal incrementan su incertidumbre.

- **Sub y/o sobreestimación de la energía para niveles bajos o altos del embalse.** Se requiere contar con una curva Factor de Conversión Vs. Nivel del embalse, que represente todo el rango de variación de los niveles del volumen útil del embalse.

3.6.2. Problema 2: Dificultad técnica en la estimación del factor de conversión.

Las pruebas en campo necesarias para la estimación del FC están sujetas a las particularidades de las plantas, y si bien están regidas por un protocolo estándar (Acuerdo CNO 694), las condiciones del entorno al momento de realizarlas (clima, accesos, disponibilidad de recursos, incertidumbres asociadas a los equipos de medición), por la configuración propia de las plantas, o el régimen hidráulico aguas abajo, puede dificultar el proceso de medición, obligando en ocasiones a aplazar las pruebas o incluso en la omisión de éstas en alguna de las unidades de generación (por mantenimientos correctivos), lo que no permitiría estimar el valor de forma directa.

En la Figura 26 se presenta el árbol del problema con las principales causas y consecuencias asociadas a este problema.

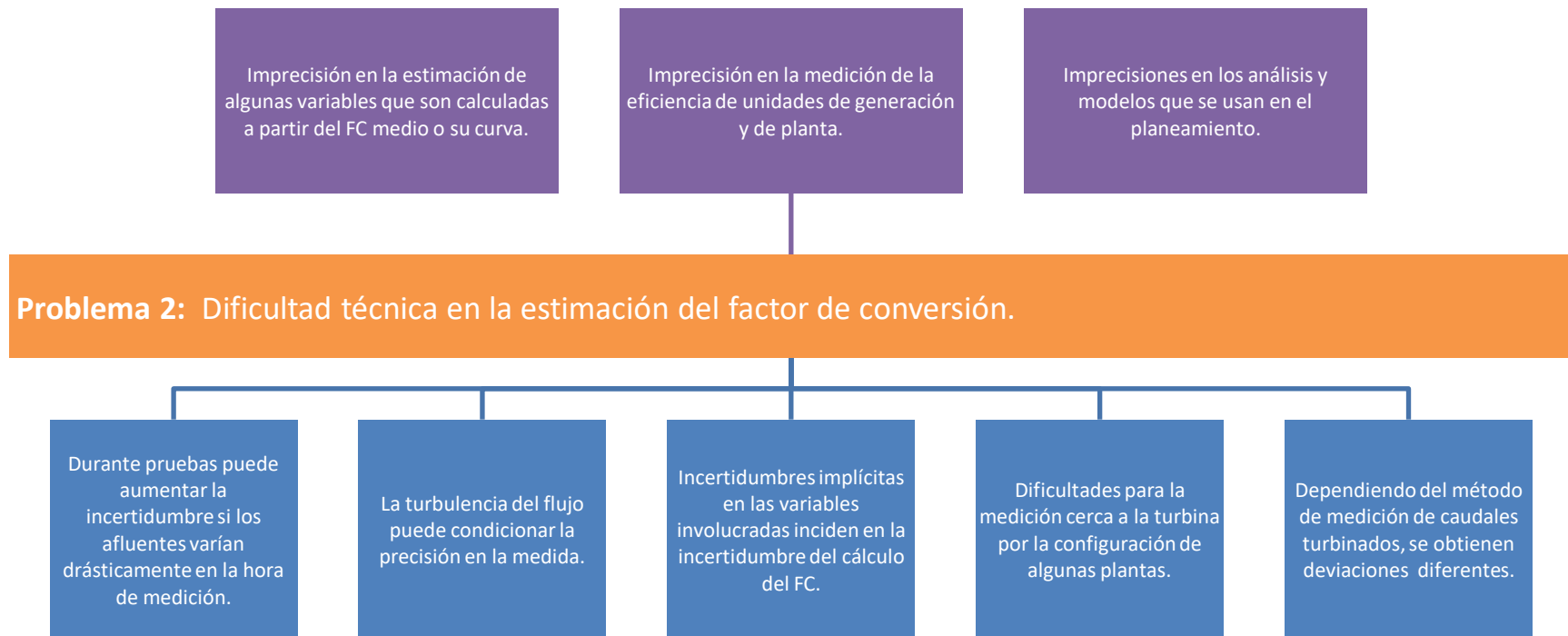


Figura 26 Árbol de problema 2 para la variable factor de conversión

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Durante pruebas puede aumentar la incertidumbre si los afluentes varían drásticamente en la hora de medición.** Esta situación se puede presentar, por ejemplo, por la llegada de una crecida durante las pruebas, oleaje causado por el viento, fenómenos de seiche, etc. El protocolo establece bandas de tolerancia en los niveles de embalse durante las pruebas, sin embargo, ante crecidas súbitas se puede aumentar la incertidumbre del parámetro medido (no es lo mismo el FC en el límite inferior que en el superior).
- **La turbulencia del flujo puede condicionar la precisión en la medida.** Flujos estables (permanentes) aumentan la precisión de las mediciones. Dependiendo de la configuración de las tuberías, es decir, por condiciones hidráulicas (ej: reducciones, codos), los flujos pueden o no presentar mayor o menor turbulencia, lo cual generaría imprecisiones en la medición (ej: ultrasonido).
- **Incertidumbres implícitas en las variables involucradas inciden en la incertidumbre del cálculo del FC.** La incertidumbre en el cálculo del FC, depende de las incertidumbres implícitas de las variables involucradas, tales como los niveles de embalse, y la de los equipos de medición hidráulica y eléctrica. Esto se controla mediante la calibración de los equipos de medida. Sin embargo, estas desviaciones y errores son acumulativos.
- **Dificultades de medición cerca a la turbina por la configuración de algunas plantas.** La topología de algunas plantas impide medir el caudal en la zona más cercana a la turbina, como se establece en el protocolo del Acuerdo CNO 694, esto genera incertidumbre en la medición, dado que no se pueden cuantificar estas pérdidas hidráulicas.
- **Dependiendo del método de medición de caudales turbinados, se obtienen desviaciones diferentes (Aforo hidrométrico, trazadores, ultrasonido, solución salina, etc).** Si la medición se realiza mediante aforos hidrométricos, esta está sujeta a las condiciones propias de las estaciones y el aforo, tales como secciones estables, correntómetros calibrados, infraestructura necesaria (tarabitas, puentes, etc) y caudales donde el instrumento pueda medir de manera correcta (caudales altos dificultan o hacen difícil la medición correcta de la velocidad del flujo). En el caso de método por ultrasonido la imprecisión puede estar causada por errores en la instalación de los sensores, y configuración de la tubería que ocasiona turbulencias locales que afectan la precisión en la medición. Para el caso de inyección de trazadores la dificultad en la medición estará relacionada con el tipo de trazador (solubles deben estar suministrados en la cantidad precisa para garantizar obtener valores en los puntos de interés), y con la manipulación en especial para trazadores radioactivos.

Este problema conlleva a las siguientes consecuencias:

- **Imprecisión en la estimación de algunas variables que son calculadas a partir del FC medio o su curva.** Cuando variables como el caudal turbinado, los aportes, la energía almacenada y los vertimientos, son calculadas con este parámetro energético implícitamente incurrir en imprecisiones frente a la alternativa de obtener mediciones directas.
- **Imprecisión en la medición de la eficiencia de unidades de generación y de planta.** Ya que la medición del FC implícitamente tiene imprecisiones, un parámetro derivado de este es la eficiencia hidráulica la cual acumularía dichas incertidumbres. No es lo mismo la medición del FC unidad por unidad (o ramal por ramal) que el FC calculado para toda la planta en conjunto,
- **Imprecisiones en los análisis y modelos que se usan en el planeamiento.** Dado que los datos hidrológicos deben ser transformados en términos de energía para ser analizados a través de los modelos de planeamiento, las incertidumbres asociadas a las variables mismas, y las desviaciones e impresiones que se han mencionado para el factor de conversión, tendrán consecuencia directa en los resultados de la modelación.

3.7. Árboles de problema asociados a los caudales turbinados.

El caudal turbinado de una central corresponde a la cantidad de agua que utilizan todas turbinas para la generación de energía. La estimación o cálculo de dicha variable dependerá de las características de la central, el tipo de conducción, número de unidades, la disponibilidad de sitios de medición, tipo de medición de la variable, entre otras.

A continuación, se describen las principales problemáticas relacionadas con la medición y estimación del caudal turbinado, las diferentes causas que originan dichos problemas y las posibles consecuencias de estos.

3.7.1. Problema 1: Simplificación de la curva del factor de conversión.

Para determinar el factor de conversión de una central hidroeléctrica, una de las variables principales es la correcta medición o estimación del caudal turbinado.

En la Figura 27 se presenta el árbol del problema con las principales causas y consecuencias asociadas a este problema.

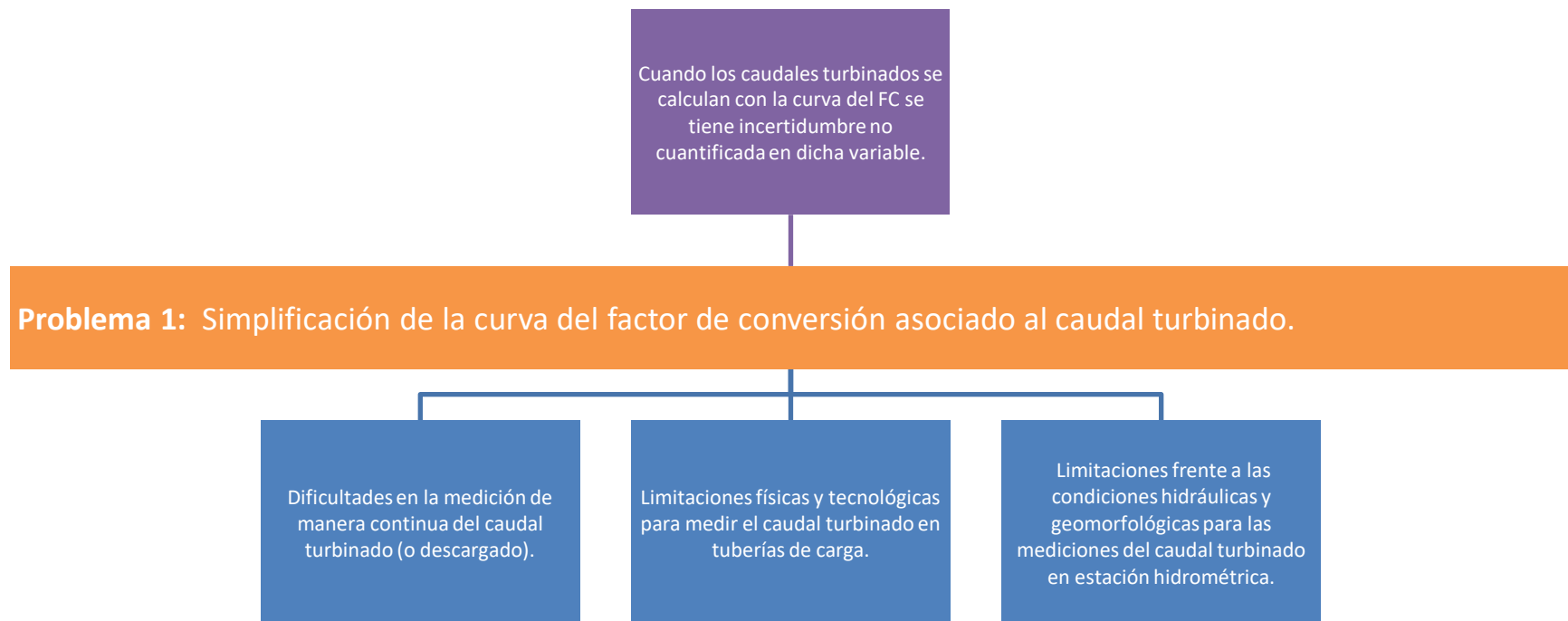


Figura 27 Árbol de problema 1 para la variable caudal turbinado

A continuación, se describe con mayor detalle algunas de las causas del problema:

- **Dificultades en la medición de manera continua del caudal turbinado (o descargado).** En algunas centrales debido a la configuración de casa de máquinas subterránea y a la ubicación final de sus tuberías de carga y de válvulas, no es posible instalar equipos que permanentemente puedan medir la velocidad del flujo en cada una de las tuberías. Similar condición se presenta cuando el resto de la conducción se encuentra dentro del concreto o el terreno.
- **Limitaciones físicas y tecnológicas para medir el caudal turbinado en tuberías de carga.** Dependiendo del diseño de las obras de generación de las centrales, se presentan casos en los cuales la localización de la válvula de control del flujo está muy cerca de la unidad de generación, y aun logrando realizar el vaciado de la tubería no es viable la utilización de sensores ultrasonidos para medir la velocidad del flujo.

En concordancia con lo anterior se utilizan sensores ultrasonidos de tipo clamp on, los cuales no tienen contacto directo con el flujo, sin embargo, tienen una mayor incertidumbre, la cual depende del número de sensores, y de que se presenten las condiciones adecuadas de flujo: número de diámetros aguas arriba y abajo de la localización de los sensores, variabilidad de la temperatura del flujo, presencia de burbujas, localización de accesorios, etc. En esos casos la recomendación de los fabricantes de los equipos es contar con más sensores que permitan tener más transectos y así recopilar diferentes medidas de velocidad y por ende acercarse más a la realidad del flujo dentro de la tubería.

Pese a lo anterior, en muchas centrales del país, las cuales tienen casa de máquinas subterránea, el tramo de conducción expuesto es corto y con diferentes instrumentos y válvulas que impiden instalar varios pares de sensores, manteniendo la limitación de la medición de la velocidad del flujo.

- **Limitaciones frente a las condiciones hidráulicas y geomorfológicas para las mediciones del caudal turbinado en estación hidrométrica.** Una estación requiere condiciones hidráulicas y geomorfológicas estables que permitan tener una curva de calibración relación nivel - caudal con largo periodo de vigencia. Esta condición no siempre es posible encontrarla en los ríos debido a que es común la presencia de lechos móviles en las corrientes o se carece de un tramo que cumpla con las características hidráulicas requeridas y con ello, no es posible entonces la instalación de una estación para obtener información confiable. Adicional a lo anterior, en algunos casos de cadenas de centrales, el embalse aguas abajo puede generar condiciones adversas en la medición de una estación hidrométrica.

Este problema conlleva a la siguiente consecuencia:

- **Cuando los caudales turbinados se calculan con la curva del FC se tiene incertidumbre no cuantificada en dicha variable.** Debido a lo mencionado anteriormente, en algunas centrales se instalan equipos temporales cuando se realizan pruebas de factor de conversión. A partir de la recopilación de datos de caudal y generación se estima una ecuación del FC, la cual es realizada bajo condiciones ideales. De ahí que con el valor de generación de la planta se puede estimar el caudal turbinado de cada unidad en cualquier periodo de tiempo. Sin embargo, existen muchas variables hidráulicas y mecánicas que influyen en la medida y cada una de ellas con una incertidumbre asociada no cuantificada.

3.7.2. Problema 2: No es posible medir el 100% del caudal turbinado.

En este árbol de problema, cuando existen limitaciones para medir el 100% del caudal turbinado, se debe recurrir a la realización de un balance en masa con la ayuda de la información de volumen almacenado en una unidad de tiempo, los caudales afluentes, vertidos y por descarga de fondo.

Teniendo en cuenta lo anterior, todas las causas y consecuencias asociadas al caudal turbinado descritas en el Problema 1 - Simplificación de la curva del factor de conversión, deben ser consideradas al realizar el balance.

En la Figura 28 se presenta el árbol del problema con las principales causas y consecuencias asociadas a este problema.

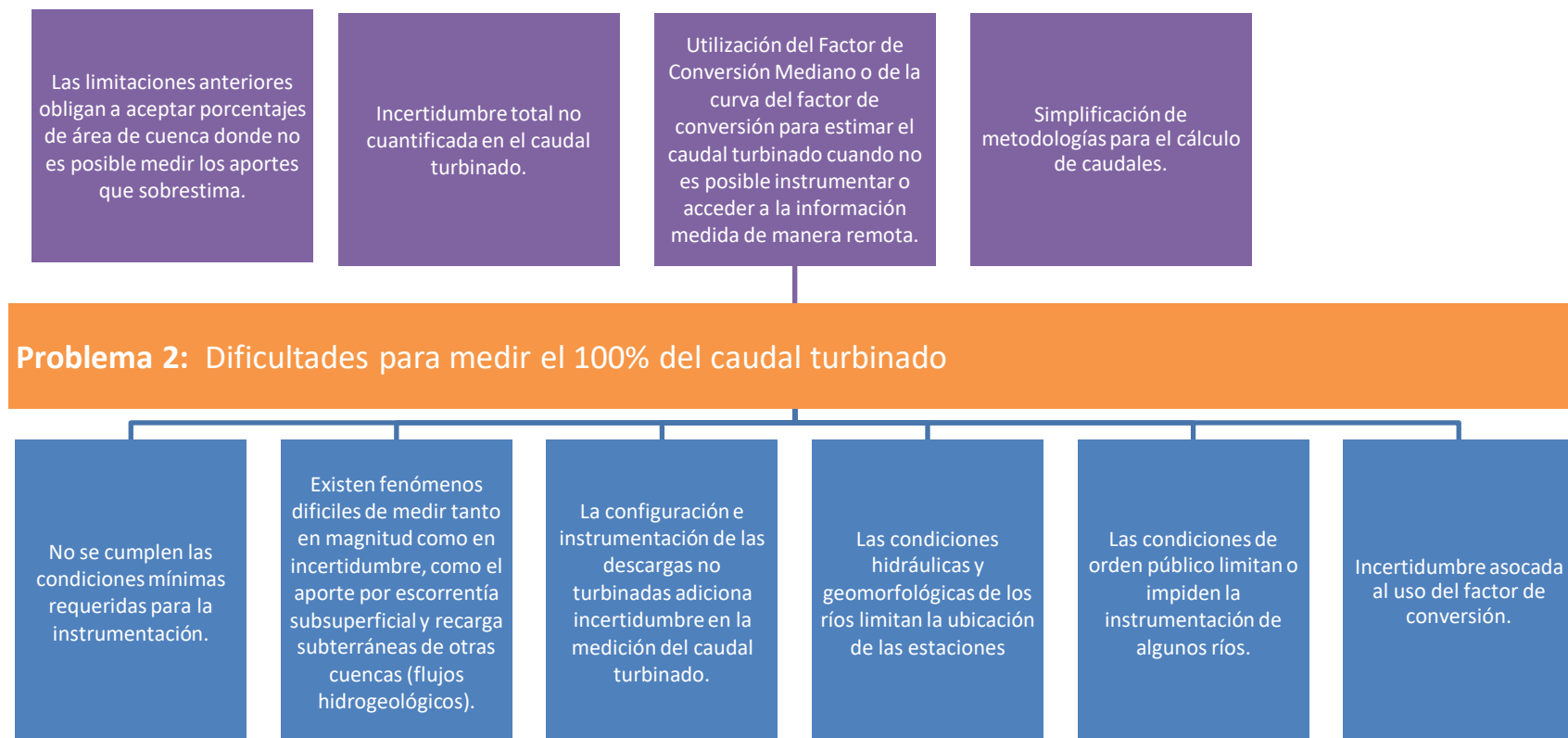


Figura 28 Árbol de problema 2 para la variable caudal turbinado

Las principales causas identificadas para este problema son:

- **No se cumplen las condiciones mínimas requeridas para la instrumentación.** Es un problema que se manifiesta tanto en el conjunto de obras que componen los sistemas de carga y descarga, dado que en muchas oportunidades no se cuenta con espacio suficiente en las estructuras para instalar equipos de medición (con ultrasonido), o no es posible cumplir con los criterios mínimos establecidos por el fabricante (diámetros aguas arriba y aguas abajo, ubicación de válvulas, etc); como en la sección hidráulica del río destinada para la medición, ya que algunos de los cauces son lechos móviles y añaden incertidumbre a las mediciones.
- **Existen fenómenos complejos de medir tanto en magnitud como en incertidumbre, como el aporte por escorrentía subsuperficial y recarga subterráneas de otras cuencas (flujos hidrogeológicos).** En centrales que: i) no son a pie de presa; ii) que descargan el caudal turbinado en otras cuencas; iii) son a pie de presa, pero la estación de medición está localizada en un tramo que recoge aportes de otros tributarios o de una cuenca en la cual la escorrentía directa no es despreciable, se pueden presentar desbalances asociados a la sobrestimación del caudal realmente utilizado en la generación, debido a las dificultades para instalar la estación justo en el punto de descarga. Adicionalmente, de acuerdo con el estado del arte de la ingeniería, no existen equipos que permitan una medición confiable de flujos hidrogeológicos.
- **La configuración e instrumentación de las descargas no turbinadas adiciona incertidumbre en la medición del caudal turbinado.** En los casos en los cuales existen estructuras que descargan aguas arriba de la estación de medición de caudal total turbinado, como la entrega del vertedero o estructuras de descarga intermedia o de fondo (variable que se incluye en la resolución de la CREG 025 de 1995) para el manejo de caudal ambiental (sin central de generación) se hace difícil medir el caudal asociado exclusivamente a la generación. Es importante aclarar que este tipo de estructuras normalmente no cuentan con medición directa y no es posible discriminar la cantidad de caudal asociada a cada estructura.
- **Las condiciones hidráulicas y geomorfológicas de los ríos limitan la ubicación de las estaciones.** No se cuenta con una sección hidráulica en el río donde se descarga que permita instalar una estación, ni realizar aforos para calibrar una ecuación.
- **Las condiciones de orden público limitan o impiden la instrumentación de algunos ríos,** puesto que pueden representar un riesgo para la integridad física de los operarios encargados de la instalación y mantenimiento de las estaciones.
- **Incertidumbre asociada al uso del factor de conversión.** La utilización del factor de conversión mediano o la curva del factor de conversión conlleva a errores en la estimación del caudal turbinado; esto debido a que el primero, no es representativo del comportamiento de todo el embalse, y la segunda, al ser el resultado de una mejor

aproximación a las condiciones registradas en las pruebas, conlleva incertidumbre en la representación de todos los escenarios operativos de la central.

Las consecuencias asociadas a este problema son:

- **Las limitaciones anteriores obligan a aceptar porcentajes de área de cuenca donde no es posible medir los aportes que sobrestima.** Esto se puede subsanar mediante el uso de metodologías indirectas para la estimación de los aportes, en función del porcentaje del área no medida, lo cual, puede aumentar las incertidumbres de los valores finalmente estimados para el aporte total.
- **Incertidumbre total no cuantificada en el caudal turbinado.** No es posible cuantificar con certidumbre total el caudal turbinado ya que no se miden directamente otras componentes incluidas en el flujo total registrado, tales como caudales provenientes de otras estructuras o cuencas tributarias.
- **Utilización del Factor de Conversión Mediano o de la curva del factor de conversión para estimar el caudal turbinado cuando no es posible instrumentar o acceder a la información medida de manera remota.** En algunos casos cuando no es posible instrumentar las tuberías de carga, la sección de restitución o el cauce aguas debajo de la entrega del caudal turbinado, es necesario utilizar los parámetros de la referencia, obteniendo incertidumbre y por consiguiente desbalance.
- **Simplificación de metodologías para el cálculo de caudales.**

3.7.3. Problema 3: Dependencia de información de terceros.

En algunas centrales frente a la dificultad de medir el caudal en las tuberías de carga se suele recurrir a la instalación de estaciones hidrométricas en los ríos donde la central descarga.

Adicionalmente, cuando la cuenca a la cual se descarga el caudal turbinado, está instrumentada por otra entidad regional o nacional, u otra empresa de generación dentro de una cadena de embalses, existe la dependencia de información de terceros.

El detalle de los problemas asociados a la medición de caudales en estaciones hidrométricas puede encontrarse en el Capítulo de los árboles de problemas asociados a la variable “Aportes a un embalse”, resumidas a continuación:

Causas:

- Configuraciones hidráulicas complejas.

- Necesidad de entregar a otras entidades la operación de estaciones.
- Completar vacíos de información.

Consecuencias:

- Oportunidad de reporte de la información.
- Desconocimiento del control de calidad de la información.
- Dificultad de garantizar que el tercero cumpla con los protocolos de medición.
- Modificación de datos históricos requiere realización de ajustes extemporáneos.

3.7.4. Problema 4: Las mediciones pueden entregar datos inconsistentes.

En la Figura 29 se presenta el árbol del problema con las principales causas por las cuales las mediciones pueden entregar datos inconsistentes o sin sentido físico en el caudal turbinado.

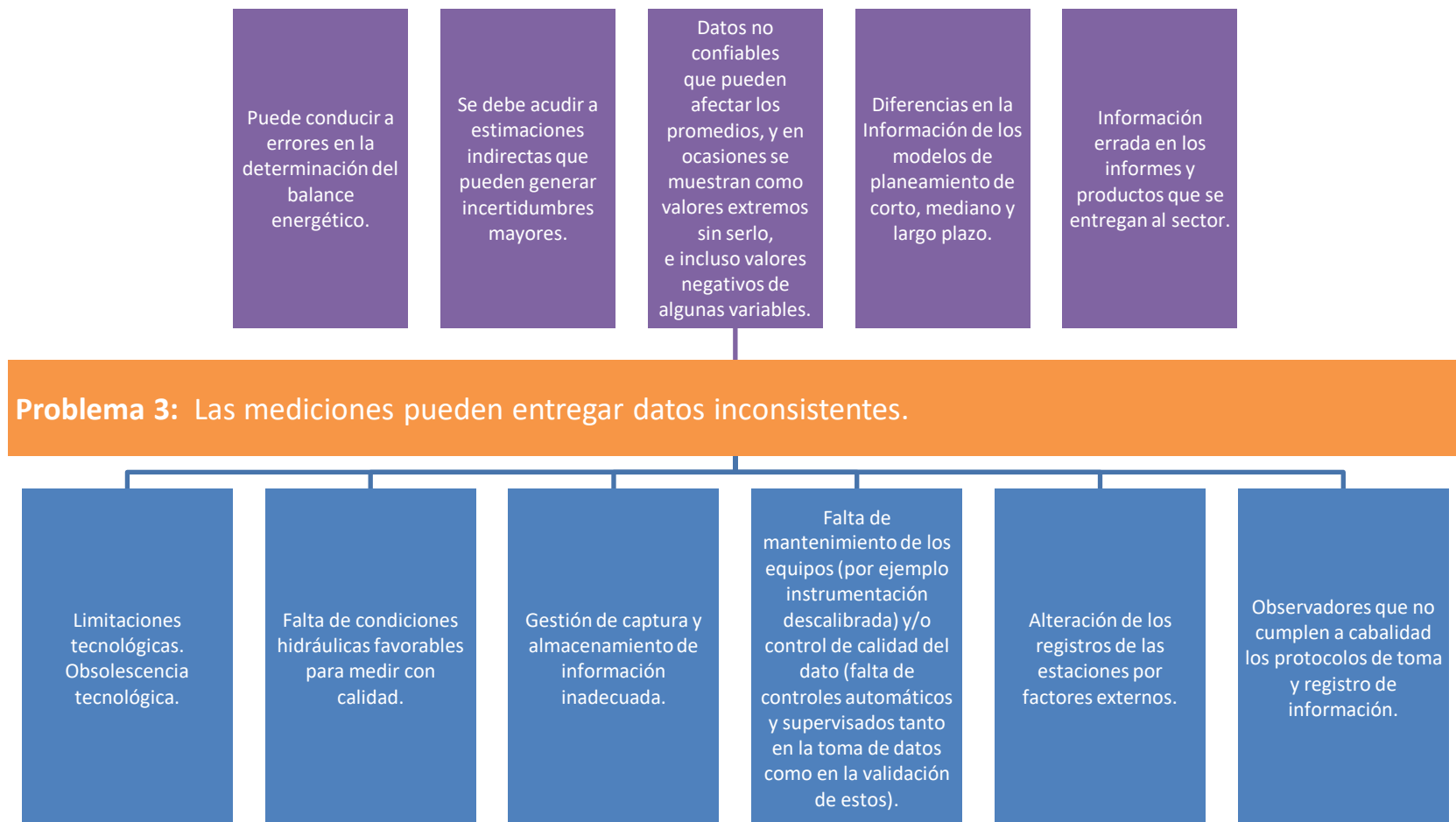


Figura 29 Árbol del problema 3 para la variable caudal turbinado

Las principales causas identificadas para este problema son:

- **Limitaciones tecnológicas, obsolescencia tecnológica.** Como se mencionó en el árbol del Problema 2 de caudales turbinados, existen limitaciones actualmente para medir variables como los caudales provenientes de procesos hidrogeológicos o de aportes de escorrentía directa que conllevan una sobrestimación del caudal turbinado.
- **Falta de condiciones hidráulicas favorables para medir con calidad.** En situaciones en las cuales el lecho de la estación de medición es móvil o donde las condiciones del flujo son turbulentas, se obtienen registros con alta incertidumbre o fuera de los rangos establecidos en las curvas de parametrización de las variables que indirectamente permiten obtener el caudal: nivel y velocidad.
- **Gestión de captura y almacenamiento de información inadecuada.** Asociado al error humano en la gestión (registro, transcripción, etc.) de la información, o a la inexistencia (o inflexibilidad de los sistemas-software) de protocolos para estandarizar el manejo de esta, presentándose problemas como la interpretación de los registros de los dataloggers debido a diferencias en la configuración regional de los sistemas de descarga, almacenamiento y/o interpretación del personal dedicado al análisis.
- **Falta de mantenimiento de los equipos (por ejemplo, instrumentación descalibrada) y/o control de calidad del dato (falta de controles automáticos y supervisados tanto en la toma de datos como en la validación de estos).** Debido a la inexistencia de protocolos que definan un umbral mínimo de mantenimiento para garantizar las condiciones de funcionamiento o a las consecuencias de los problemas de orden público (descritas en el Problema No. 2) que impiden realizar los mantenimientos, tanto preventivos como correctivos.
- **Alteración de los registros de las estaciones por factores externos.** La localización de las estaciones las hace susceptibles a impactos asociados a condiciones naturales (descargas eléctricas, crecientes, movimientos en masa, procesos de agradación, etc.) que alteran los sensores. También es importante considerar que la pérdida de información debido al vandalismo en nuestro país es una constante que debe ser tomada en consideración en la definición de protocolos de medición.
- **Observadores que no cumplen a cabalidad los protocolos de toma y registro de información.**

Las consecuencias asociadas a este problema son:

- **Puede conducir a errores en la cuantificación del balance energético.**
- **Se debe acudir a estimaciones indirectas que pueden generar incertidumbres mayores.** Ante la carencia de información y con el propósito de cumplir con los parámetros regulatorios,

se pueden implementar indirectos de respaldo que conlleven a incertidumbre en la medición. Este tipo de situaciones conlleva un esfuerzo adicional en el registro de metadatos para poder generar trazabilidad para análisis ex post.

- **Datos no confiables que pueden afectar los promedios, y en ocasiones se muestran como valores extremos sin serlo, e incluso valores negativos de algunas variables.**
- **Diferencias en la información de los modelos de planeamiento de corto, mediano y largo plazo.** Se debe contar con estándares que consideren las mejores prácticas internacionales para la medición y estimación de las variables, porque se pueden afectar los estudios y las decisiones que se toman en los procesos de la planeación y operación del sistema, en sus diferentes horizontes de análisis.
- **Diferencias en la información de los informes y productos que se entregan al sector**

Anexo Consolidado de la Circular CNO 032 SURER