

EVALUACIÓN DEL IMPACTO EN EL SECTOR ELÉCTRICO DE LA GUÍA DE ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL EN COLOMBIA

Por solicitud del Ministerio de Energía, en este documento se presenta un resumen de los trabajos realizados por el equipo UPME–CNO–XM en relación con la evaluación del impacto de la Guía para la estimación de caudal ambiental, propuesta por el Ministerio de Ambiente (MADS) en varias ocasiones.

Se presentan los análisis realizados para la evaluación de la Guía en el sector de generación de energía en Colombia y el río Bogotá.

1. CRONOLOGÍA

A finales de 2017 el Ministerio de Ambiente (MADS) somete a consulta pública la “GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL CAUDAL AMBIENTAL”, y encarga a la UPME evaluar rápidamente los impactos de la aplicación de dicha metodología sobre el sector de generación de energía eléctrica.

En enero de 2018, la UPME dando cumplimiento a lo encargado por el MADS, evalúa para algunas de las centrales hidroeléctricas en operación sus aprovechamientos. Los resultados de la Unidad mostraban valores que no concordaban con los ejercicios adelantados por el CNO. A partir de este momento se acuerda con el MADS ampliar el grupo de trabajo, incluyendo al Consejo y a XM, y se realizan una serie de actividades (2018 y 2019) de evaluación para las diferentes versiones de la Guía compartidas por el MADS, tanto las de aplicación Nacional como las específicas para el río Bogotá. En la Figura 1 se presenta un resumen de los principales hitos llevados a cabo para evaluar cada una de las versiones de la Guía.

A continuación, se describen los trabajos realizados para la evaluación del impacto en el sector de generación de energía de cada una de las versiones de la Guía compartidas.

2. EVALUACIÓN PRIMERA VERSIÓN DE LA GUÍA NACIONAL (DIC – 2017)

En esta primera versión de la Guía Nacional se presentan “los criterios mínimos para la estimación y evaluación del caudal ambiental, entendido éste como el volumen de agua por unidad de tiempo, en términos de régimen y calidad, requerido para mantener el funcionamiento y resiliencia de los ecosistemas acuáticos y su provisión de servicios ecosistémicos”. En la Figura 2 se ilustra de forma resumida la estructura metodológica propuesta en la Guía para la estimación del caudal ambiental, la cual está constituida por dos niveles de implementación, denominados Estimación y Gestión.

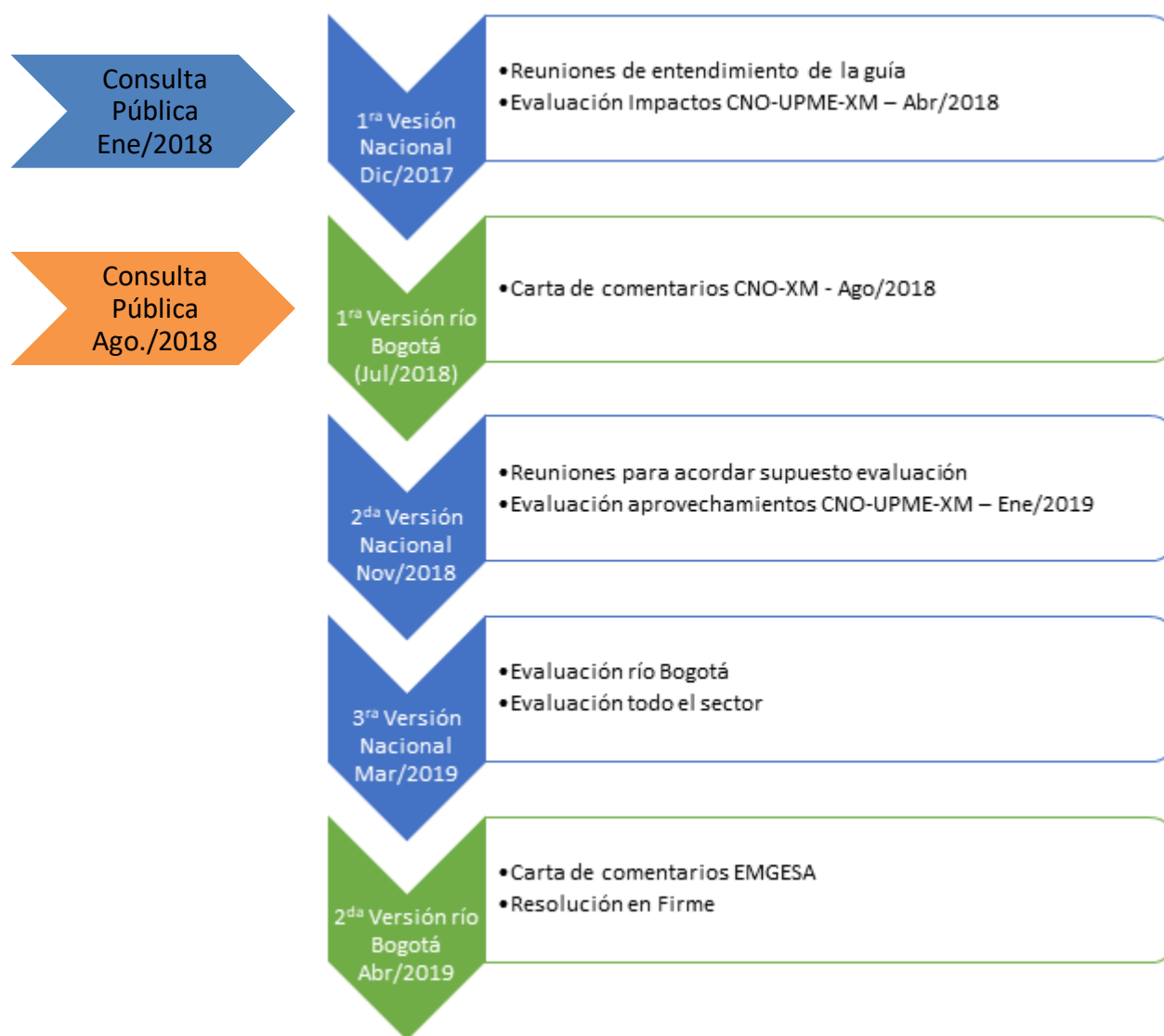


Figura 1. Resumen de los trabajos adelantados por el equipo UPME-CNO-XM en el tema de caudal ambiental.

Para evaluar el impacto en el sector de generación de energía eléctrica fue necesario realizar una serie de reuniones con los funcionarios del MADS, para comprender algunos de los pasos presentados en la Guía, pues esta no era lo suficientemente clara. En la Figura 3 se presenta en mayor detalle en qué consiste la Fase 2, donde se define la propuesta de aprovechamiento que permite garantizar los caudales ambientales requeridos. Se hace especial énfasis en esta Fase, pues como se verá más adelante, es uno de los pocos componentes de la Guía que ha tenido ajustes, pero sin haberse planteado las discusiones necesarias que permitieran identificar su conveniencia desde el punto de vista ambiental.

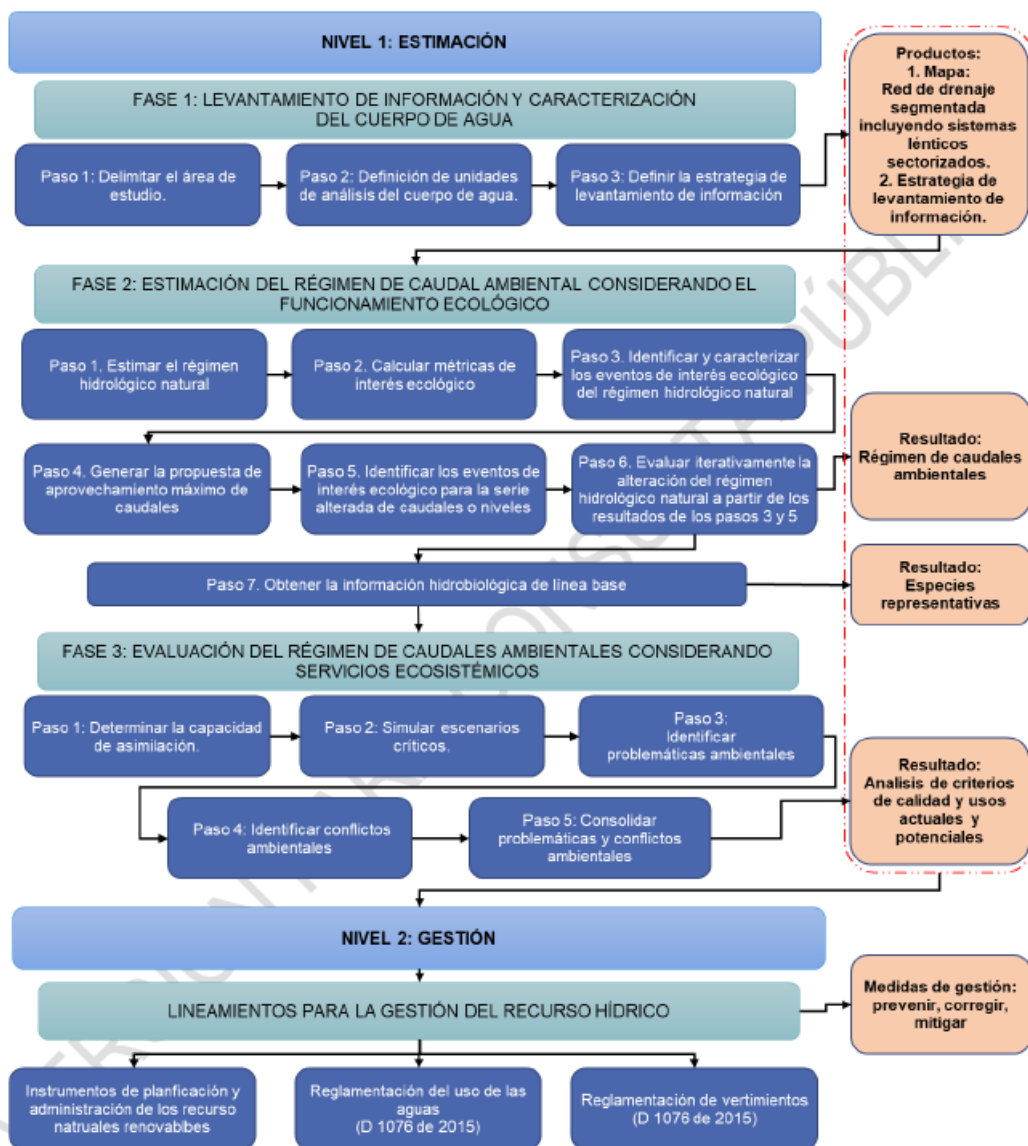
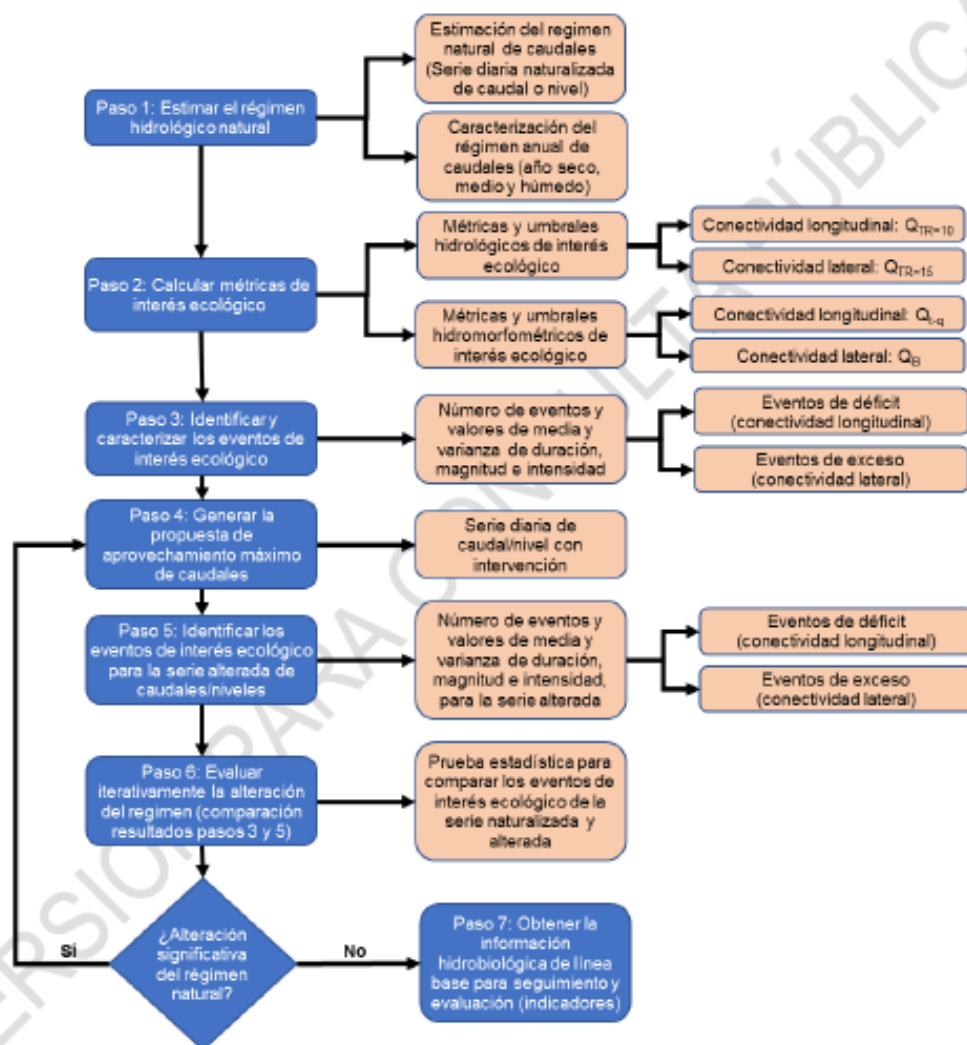


Figura 2. Estructura metodológica para la estimación del caudal ambiental en Colombia. Tomado de la Guía Nacional Versión 2017

Vale la pena resaltar además que en esta versión de la Guía siempre se requería de la estimación de una serie de caudales naturalizada para poder aplicar la metodología, actividad que, para algunas corrientes muy intervenidas desde hace mucho tiempo, es casi imposible de realizar. Sin embargo, este requerimiento fue ajustado en la siguiente versión de la Guía, que aplicaría solo para el río Bogotá.



* Tratándose de régimen natural de flujo, en caso de presentarse un régimen de caudales alterado (ver numeral 1.3 - Definiciones) la serie debe restaurarse a condiciones naturales sin la alteración para tener en cuenta las condiciones de referencia.

Figura 3. Diagrama de flujo para la aplicación del componente de análisis de funcionamiento ecológico. Tomado de la Guía Nacional Versión 2017

Una vez se logró tener ciertas claridades de la Guía, el grupo de trabajo estimó los caudales ambientales asociados, tanto a proyectos en operación como a futuros, para finalmente evaluar el impacto en el sector a partir de unos escenarios de expansión propuestos por la UPME.

En el Anexo 1 a este documento se presentan en detalle los resultados obtenidos en esta primera evaluación, los cuales fueron compartidos con el MADS y ampliamente discutidos. A continuación, se resumen los aspectos fundamentales de dicha evaluación.

Porcentajes de aprovechamientos reales

Las estimaciones de los aprovechamientos realizadas por el equipo de trabajo se limitaron a aplicar los pasos 2 a 6 de la Fase 2 denominada “*Estimación del régimen de caudal ambiental considerando el funcionamiento ecológico*” que hace parte del Nivel 1 “*Estimación*” (ver Figura 1). El resto de los pasos indicados en la Guía no han sido objeto de implementación ni de evaluación.

Como se mencionó anteriormente, la Guía no era lo suficientemente clara respecto a la realización de ciertos pasos, y por lo tanto fue necesario efectuar una serie de reuniones con el MADS para un mejor entendimiento de la metodología. Como producto de estas reuniones se acordaron una serie de supuestos que se usarían para estimar los caudales aprovechables y poder así adelantar la evaluación del impacto en el sector (ver diapositiva 6 de Anexo 1).

Vale la pena resaltar además que en la Guía se define el porcentaje de caudal que en teoría podría aprovechar un proyecto hidroeléctrico, pues este no da cuenta de los caudales mínimos que deben garantizarse en los ríos. Así pues, sólo después de garantizar dichos caudales, se conoce realmente cuales son los porcentajes de aprovechamiento reales. Es importante realizar esta diferenciación pues como se verá más adelante, el MADS presenta los resultados de aplicar la Guía en términos de aprovechamientos teóricos y no reales, y estos valores pueden diferir de forma considerable.

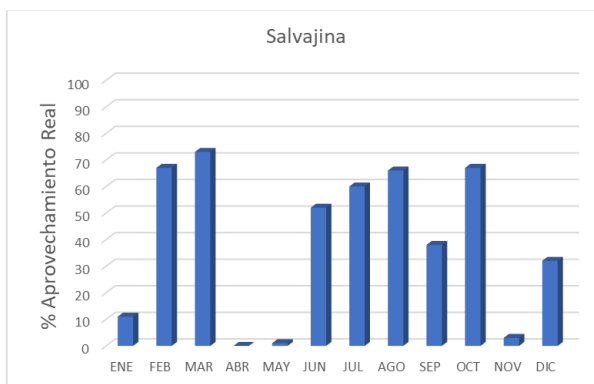
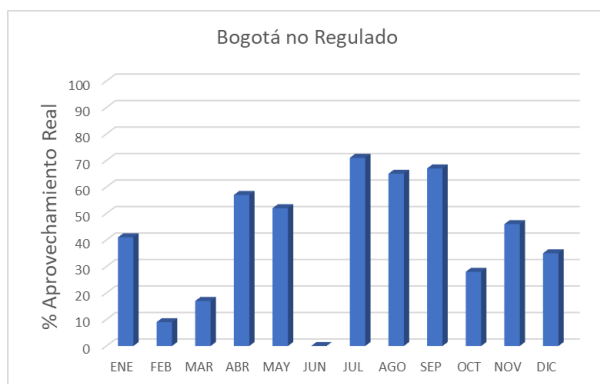
Adicionalmente, es necesario tener presente que los valores obtenidos corresponden al porcentaje del caudal medio mensual multianual, que podría aprovecharse máximo en cada mes.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de los porcentajes de aprovechamiento reales para cada una de las 24 series hidrológicas analizadas por el equipo de trabajo, las cuales están asociadas a los proyectos hidroeléctricos en operación y al proyecto Ituango que en su momento se esperaba empezará a operar. En dicha Tabla se resaltan en rojo los valores de aprovechamiento entre 0 y 5 %, que implicarían que las centrales hidroeléctricas asociados a esos ríos no podrían operar durante esos meses; adicionalmente en amarillo se resaltan los aprovechamientos entre 5 y 10 % que continúan siendo bastante bajos y que en algunos casos igualmente podrían implicar que las centrales no operarían durante dicho mes. En la Figura 4 se presentan gráficamente los aprovechamientos para algunas de las centrales que mayor restricción tendrían en los caudales aprovechables.

Tabla 1. Porcentaje de aprovechamiento real con respecto al caudal promedio mensual multianual - Evaluación Guía Nacional 2017.

SERIE - RÍO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
Bog.No regulado	41	9	17	57	52	0	71	65	67	28	46	35	41
Alto Anchicayá	36	19	57	56	62	66	52	58	59	57	56	15	49
Bajo Anchicayá	30	23	8	59	59	55	46	38	22	56	57	20	39

Calima	74	36	56	44	78	78	79	73	49	29	26	14	53
Salvajina	11	67	73	0	1	52	60	66	38	67	3	32	39
Chivor	38	11	11	19	65	7	58	57	26	58	57	56	39
Prado	14	10	12	18	68	72	32	17	20	61	66	66	38
Guavio	29	18	44	66	8	30	14	52	50	50	52	56	39
Betania	23	24	15	52	12	47	23	53	55	54	57	41	38
Jaguas	26	22	19	13	14	1	20	22	20	11	13	39	18
Playas	16	34	38	62	54	58	64	29	24	15	2	10	34
Neusa	60	56	55	53	14	66	25	40	72	65	4	65	48
Chuzá	61	53	59	67	15	64	4	19	62	65	63	64	50
Porc3	20	16	7	49	8	42	11	17	32	12	31	42	24
Porc2	25	22	21	23	7	31	10	6	51	13	1	41	21
Sisga	36	33	40	47	62	2	72	0	69	69	67	48	45
Tominé	42	44	51	30	64	7	73	74	71	23	62	55	50
Tasajera	50	30	4	18	18	50	14	31	0	31	22	16	24
San Carlos	14	11	11	35	48	1	47	11	61	59	43	53	33
Guadalupe	26	42	20	29	60	63	17	64	16	7	4	62	34
Urrá	41	18	6	66	31	0	54	49	50	28	34	51	36
Guatapé	21	19	28	23	14	1	29	15	56	1	3	31	20
Miel	9	48	54	60	59	53	19	26	50	10	0	0	32
Ituango	26	7	28	19	35	13	15	16	29	24	55	14	23
Genérico	32	28	31	40	38	36	38	37	44	37	34	39	36



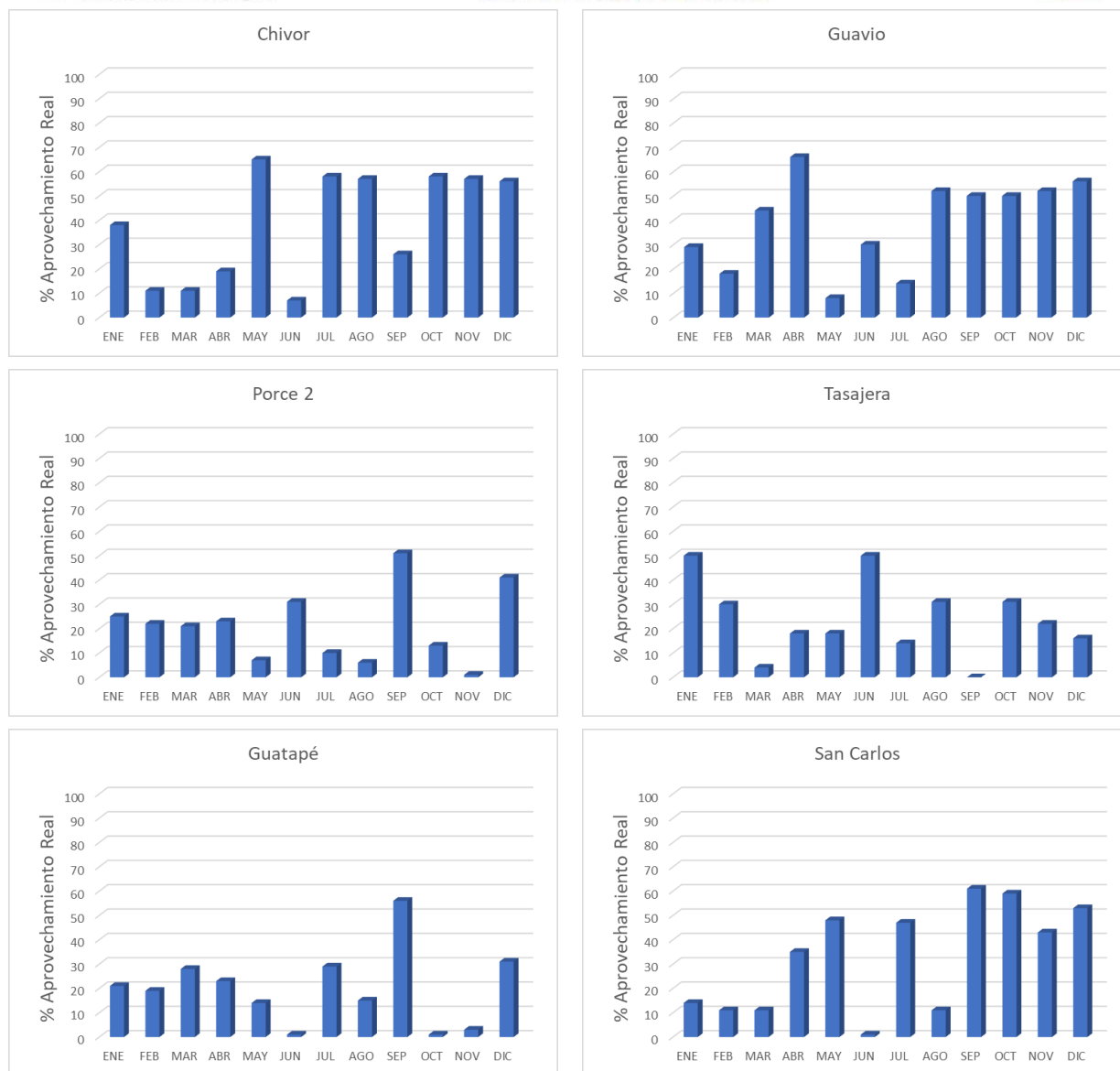


Figura 4. Porcentaje de aprovechamiento real con respecto al caudal promedio mensual multianual - Evaluación Guía Nacional 2017.

Escenarios de expansión considerados

La UPME como entidad del gobierno responsable de generar el plan indicativo de expansión en generación, fue la encargada de suministrar los escenarios de expansión que se usarían para el ejercicio.

El Escenario 1 corresponde al caso base en el cual se tiene una participación de todas las tecnologías. A modo de sensibilidad, se consideraron otros dos escenarios teniendo en cuenta la incertidumbre en la expansión de la generación y la participación de las diferentes tecnologías.

Con respecto al Escenario base, el Escenario 2 tiene menos participación de la hidroelectricidad y más de la térmica a carbón y solar de grandes emplazamientos. El Escenario 3 en cambio tiene mayor participación de eólica en lugar de la hidroelectricidad, térmicas a carbón, biomasa y solar de grandes emplazamientos. En la Figura 5 se presenta para cada uno de los escenarios considerados en los análisis, la participación por tecnología.

Escenarios Considerados

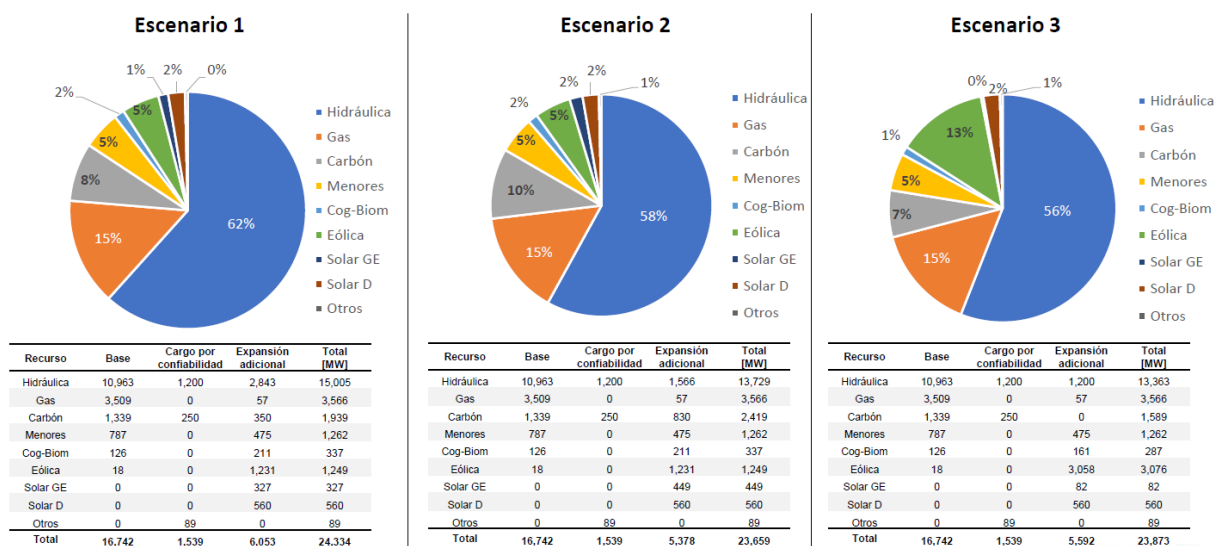


Figura 5. Escenarios de expansión considerados.

Simulaciones energéticas realizadas y estimación de impactos

Para estimar los impactos en el sector, se realizó para cada uno de los escenarios de expansión la comparación entre el caso de no aplicación de la Guía y los siguientes tres casos de aplicación de esta:

- Aplicando la Guía a proyectos futuros + los que renuevan concesiones a 15 años.
- Aplicando la Guía solo a proyectos futuros.
- Aplicando la Guía a todo el parque hidráulico (existente y futuro).

Los casos de aplicación de la Guía que incluyen la aplicación a proyectos en operación, se plantean teniendo en cuenta que; en el momento de la renovación de la concesión de aguas la Corporación Autónoma Regional puede solicitar la aplicación de la Guía.

A partir de la comparación de los casos sin y con Guía se estimaron los impactos en las siguientes variables:

- Generación hidroeléctrica.
- Generación térmica.
- Emisiones de gases efecto invernadero.
- Atención de la demanda.
- Costo marginal.

En el Anexo 1 se presenta en forma detallada los supuestos adoptados para realizar las simulaciones y cada uno de los resultados obtenidos.

Principales Conclusiones

Bajo los supuestos considerados y escenarios simulados se identifica que las restricciones planteadas por la metodología para estimación del caudal ambiental a través del aprovechamiento máximo y limitaciones en los turbinamientos en las centrales hidroeléctricas presentan los siguientes efectos:

Aplicación solo a proyectos futuros

- Riesgo en la atención de la demanda. Se evidencian periodos con racionamiento (déficit).
- Aumento de emisiones de gases de efecto invernadero. Aumento del 42% en generación térmica promedio y 37% de emisiones de CO₂.
- Incremento en los costos operativos. Aumento del 26% de los costos marginales promedio del sistema.

Aplicación a proyectos futuros + renovación de concesiones a 15 años

- Imposibilidad de la atención de la demanda. Se presentan casos con racionamiento (déficit) recurrente, especialmente en periodos de baja hidrología.
- Aumento de emisiones de gases de invernadero. Aumento del 310% en generación térmica promedio y 195% de emisiones de CO₂.
- Incremento en los costos operativos. Aumento del 410% de los costos marginales promedio del sistema.

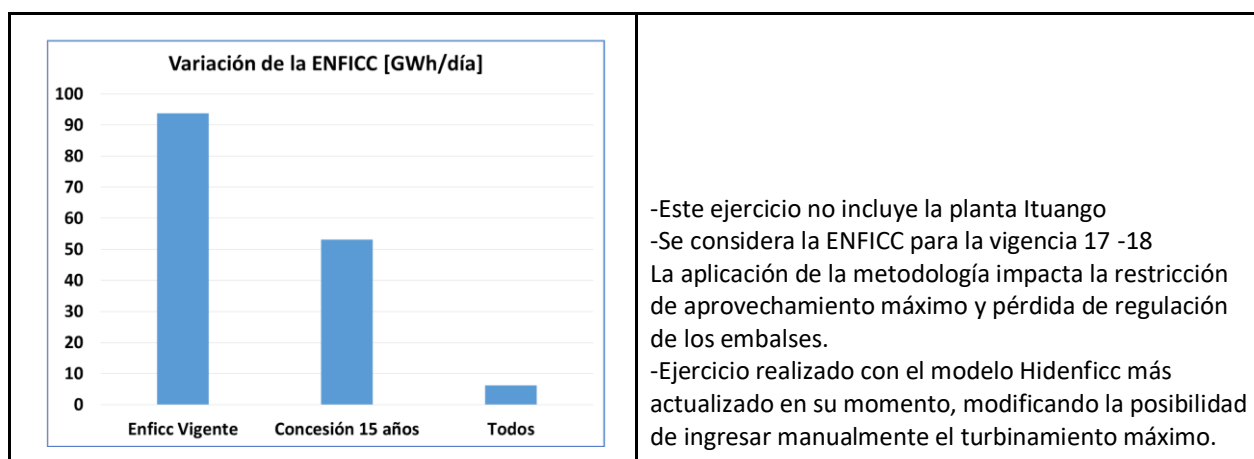
Aplicación a proyectos futuros + proyectos existentes

- Imposibilidad de la atención de la demanda. Se presentan casos con racionamiento (déficit) bajo todos los escenarios, con valores que superan el 25% de la atención de la demanda desde el principio del horizonte. (Como referencia el 25% de la demanda del sistema se aproxima a toda la demanda de la ciudad de Bogotá).

- Aumento de emisiones de gases de efecto invernadero. Aumento del 445% en generación térmica promedio y 270% de emisiones de CO₂.
- Incremento en los costos operativos. Aumento del 4000% de los costos marginales promedio del sistema.

Análisis de Confiabilidad y costo de reemplazo de la ENFICC hidráulica

Cómo parte de la evaluación del impacto en el sector eléctrico de la aplicación de la Guía, versión 2017, se estimó el impacto en la energía firme del sistema bajo los escenarios considerados. Los bajos aprovechamientos que en algunos meses se presentan ante la aplicación de la Guía y la pérdida del almacenamiento de los embalses tienen repercusión directa en la ENFICC hidráulica del SIN, la cual se ilustra en la siguiente gráfica:



Los resultados indican que, ante la aplicación de la metodología para renovación de concesión de los proyectos existentes en los próximos quince años, la ENFICC disminuye en un 43 %, y ante la aplicación de la metodología para todos los proyectos, la ENFICC disminuye en un 93 %.

Es importante resaltar que gran parte del impacto en la confiabilidad de la atención de la demanda obedece a la pérdida de la capacidad de regulación de los embalses que impide el almacenamiento y descarga natural para lo cual fueron diseñados, afectando la operación de un sistema mayoritariamente hidráulico como el nuestro, donde su capacidad máxima de almacenamiento representa solamente el 25% de la demanda anual del SIN.

Como análisis complementario, el grupo de trabajo UPME-CNO-XM cuantificó para el escenario base de expansión de la Unidad (1), la reducción de la ENFICC hidroeléctrica por la aplicación de la Guía, considerando que la misma afectaría a los proyectos futuros y a las plantas con renovación de concesiones durante los próximos 15 años. Asimismo, se llevó a cabo una sensibilidad, contemplando o no la afectación de Ituango. Adicionalmente, se estableció la capacidad instalada que se requeriría para reemplazar dicha ENFICC hidroeléctrica con diferentes

tecnologías de generación, junto con su costo de capital de referencia. Los resultados se presentan a continuación:

Proyectos futuros + concesiones + Ituango

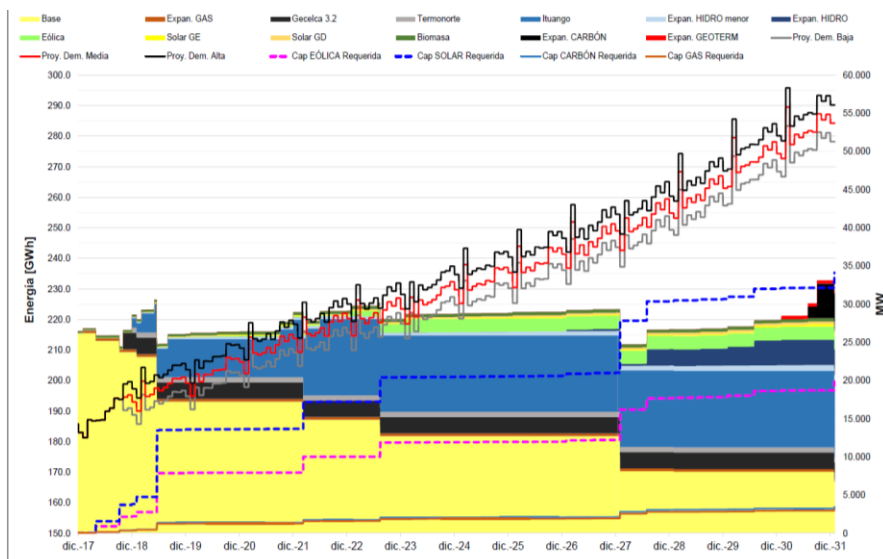
La ENFICC asociada a proyectos hidroeléctricos disminuye cerca de 43,6%, pasando de 131.6 GWh/día a 74.2 GWh/día al final del periodo.

Para cubrir esa ENFICC, se requiere expansión de:

34,081 MW Fotovoltaicos, o
19,828 MW Eólicos, o
3,419 MW a Carbón, o
3,124 MW a Gas

Equivalente a un CAPEX aproximado de:

USD 37,489 Millones para FV;
USD 25,776 Millones para Eólicos;
USD 6,155 Millones para Carbón;
USD 3,748 Millones para Gas;



Proyectos futuros + concesiones+ sin Ituango

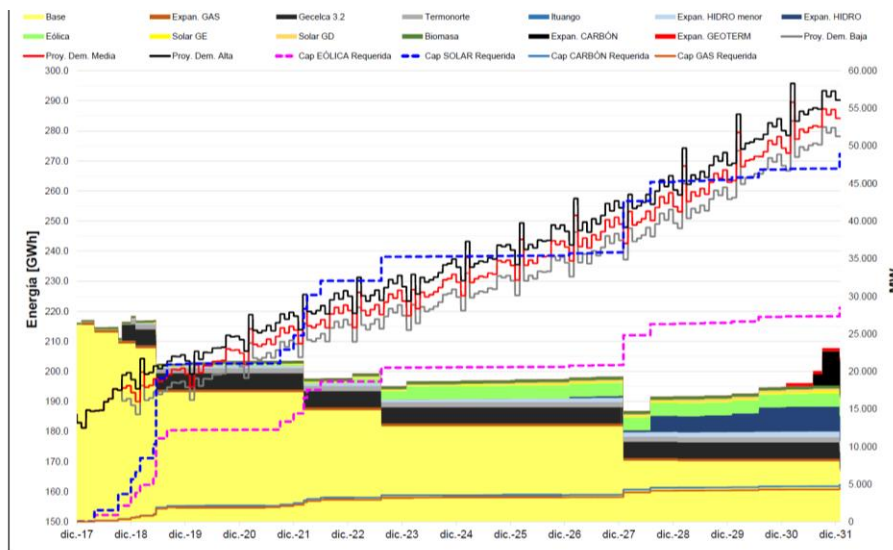
La ENFICC asociada a proyectos hidroeléctricos disminuye cerca de 62,6%, pasando de 131.6 GWh/día a 49.2 GWh/día al final del periodo.

Para cubrir esa ENFICC, se requiere expansión de:

48,924 MW Fotovoltaicos, o
28,464 MW Eólicos, o
4,909 MW a Carbón, o
4,484 MW a Gas

Equivalente a un CAPEX aproximado de:

USD 53,817 Millones para FV;
USD 37,003 Millones para Eólicos;
USD 8,836 Millones para Carbón;
USD 5,381 Millones para Gas;



De las gráficas anteriores se puede concluir:

- Si la ENFICC hidroeléctrica es reemplazada con energía proveniente de plantas solares fotovoltaicas o eólicas, se requeriría nueva capacidad instalada que variaría entre 34 y 48,9 GW para la primera tecnología, y de 19,8 a 28,4 GW para la segunda, dependiendo del

escenario. Asimismo, la inversión de capital oscilaría entre USD 25776 Millones y USD 53817 Millones, dependiendo del caso.

- Si la ENFICC hidroeléctrica es reemplazada con energía proveniente de plantas térmicas, se requeriría nueva capacidad instalada que variaría entre 3,1 y 4.9 GW, dependiendo del combustible utilizado por estos recursos y el escenario considerado. Desde el punto de vista de inversión de capital, el CAPEX no sería mayor a USD 8836 Millones.

3. EVALUACIÓN PRIMERA VERSIÓN DE LA GUÍA RÍO BOGOTÁ (JUL - 2018)

En julio de 2018 el MADS somete a consulta pública la Guía para el río Bogotá, cuyo objetivo era *“Establecer el enfoque metodológico y los criterios mínimos para la estimación y evaluación de caudales ambientales en el río Bogotá, en el marco de la estimación de la oferta hídrica disponible a escala regional, así como en procesos de licenciamiento ambiental que así lo requieran”*.

El principal cambio realizado en esta versión de la Guía, en comparación con la Nacional de 2017, consiste en presentar claramente la siguiente diferenciación en la determinación del caudal ambiental:

- La estimación del caudal ambiental a escala regional, en el marco de la estimación de la oferta hídrica disponible, es competencia de las Autoridades Ambientales. En la Figura 6 se presenta de forma resumida la estructura metodológica propuesta en la Guía, allí puede verse que con respecto a la Guía Nacional de 2017 se agrega el Paso 0 en la Fase 2 del Nivel 1, lo cual constituye un cambio importante, pues esto permitirá trabajar con series de caudales naturalizadas o alteradas dependiendo de dicha condición, tal como puede observarse en mayor detalle en la Figura 8.
- La estimación del caudal ambiental a escala local les corresponde a los usuarios, en el marco de la realización de los estudios de impacto ambiental en el proceso de licenciamiento de aquellos proyectos, obras o actividades que así lo requieren. En la Figura 7 se presenta de forma resumida la estructura metodológica propuesta en la Guía.

Análisis realizados y principales Conclusiones

Para esta evaluación se realizó un análisis cualitativo de la situación y se presentaron las siguientes conclusiones al MADS:

Conclusiones Generales

- Se identificó que la metodología propuesta conserva conceptualmente las mismas características de la anterior, expedida mediante proyecto de resolución en diciembre de 2017 a nivel nacional, sin tener en cuenta las condiciones particulares, en este caso, del río Bogotá.

Ahora bien, en relación con el análisis de diagnóstico/impactos esperados e impacto económico que debería acompañar una norma de esta categoría, sólo se identificó el costo de desarrollar la modelación, pero no se contemplaron aspectos sistémicos, como el impacto en los diferentes sectores económicos involucrados, en particular la afectación de la Energía Firme, la energía media y en general, la atención económica, segura y confiable de la demanda.

- En la propuesta se mencionó el desarrollo de estudios previos de aplicación de la metodología en ríos de Antioquia de la jurisdicción de CORNARE. Sobre este punto es claro que las conclusiones de ese ejercicio no son extrapolables a la cuenca del río Bogotá por las amplias diferencias que existen a nivel hidrológico, hidráulico, ambiental, morfológico, social e Industrial entre las dos cuencas. En este sentido se consideró necesario desarrollar un piloto, precisamente en la cuenca que se quiere regular.
- De acuerdo con lo anterior, se le ratificó al Ministerio los múltiples impactos que tiene la metodología propuesta para el cálculo del caudal ambiental en la cadena del río Bogotá y por ende en la región Oriental, que incluían riesgos para la atención de la demanda, incremento de la generación térmica, aumento de las emisiones de gases efecto invernadero y material particulado, y el incremento de los costos de la prestación del servicio de energía eléctrica.

Impacto que tiene la propuesta en los recursos energéticos del río Bogotá.

Se identificó que se afectaría directamente los recursos de generación del área Oriental, que son la central PAGUA y los recursos de la cadena antigua (plantas menores y filo de agua). A continuación, algunos impactos identificados:

- A partir de las exigencias de la Guía, se estimó en el caso de PAGUA la pérdida de la totalidad de Energía Firme, que equivale a 3,9 TWh/año, dado que se identificaron meses en los cuales no se contaría con caudal aprovechable.
- Se estableció una reducción del 66% de la energía media de los recursos de generación, que equivale al 53% de la demanda media de energía de la ciudad de Bogotá.
- Lo anterior genera riesgos para la atención de la demanda a nivel país, que se deberían subsanar a través de la instalación de nuevos proyectos de generación o transmisión. Ello desconociendo las alternativas más eficientes para la prestación del servicio de energía eléctrica, provocando la des-optimización de los recursos y sobre costos para la demanda.

Impactos eléctricos para el área

- Sin la generación de PAGUA, como recurso despachado centralmente y con capacidad de regulación, y asumiendo la disponibilidad de toda la red de transmisión, se tendría para el año 2018 un riesgo cercano al 5 % de no atender la totalidad de la demanda del área Oriental bajo condiciones de confiabilidad, ello desde el punto de vista eléctrico. Adicionalmente, ante la indisponibilidad de activos en la red de transmisión (líneas y dispositivos de compensación reactiva), ya sea por fallas o mantenimientos en la zona, el riesgo mencionado sería mayor al 25 %, dependiendo de las condiciones operativas.
- La indisponibilidad de PAGUA también limitaría la ejecución de mantenimientos en otras unidades de generación y activos de la red, motivo por el cual se incrementaría la tasa de falla de la infraestructura eléctrica del área Oriental, lo que, a su vez, incrementaría los riesgos en la atención confiable de la demanda.
- Con el crecimiento vegetativo de la demanda y la indisponibilidad de otras plantas de generación (situación recurrente cuando se llevan a cabo mantenimientos), existen escenarios operativos (por ejemplo, indisponibilidad de la línea Primavera-Bacatá 500 kV y PAGUA) en los cuales se puede requerir desconexiones preventivas de carga en varias subestaciones del área Oriental, lo cual implicaría dejar fuera de servicio a 134000 usuarios por cada 100 MW racionados, ello debido a la limitación en importación de energía desde otras zonas del SIN.

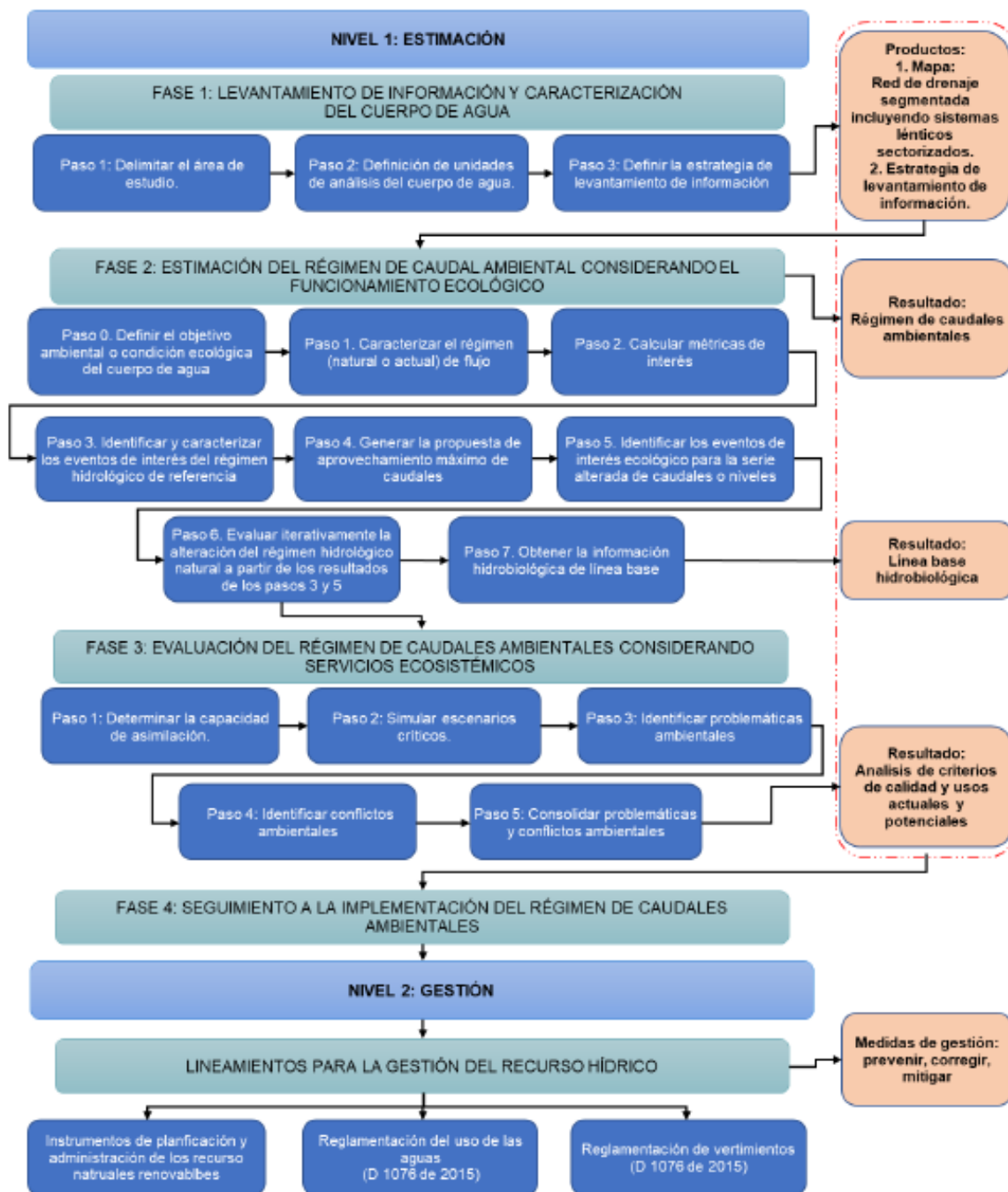


Figura 6. Estructura metodológica para la estimación del caudal ambiental por parte de las Autoridades Ambientales. Tomado de la Guía río Bogotá Versión 2018

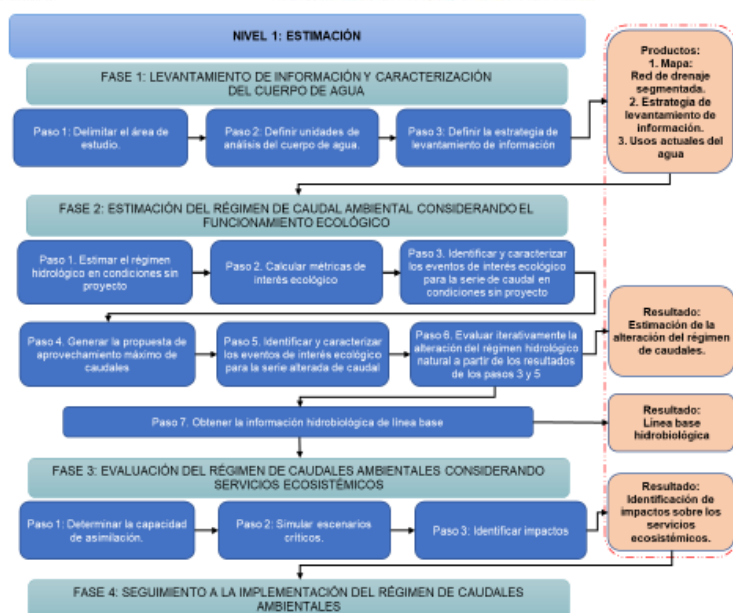


Figura 7. Estructura metodológica para la estimación del caudal ambiental por parte de los usuarios, en el marco de procesos de licenciamiento. Tomado de la Guía río Bogotá Versión 2018

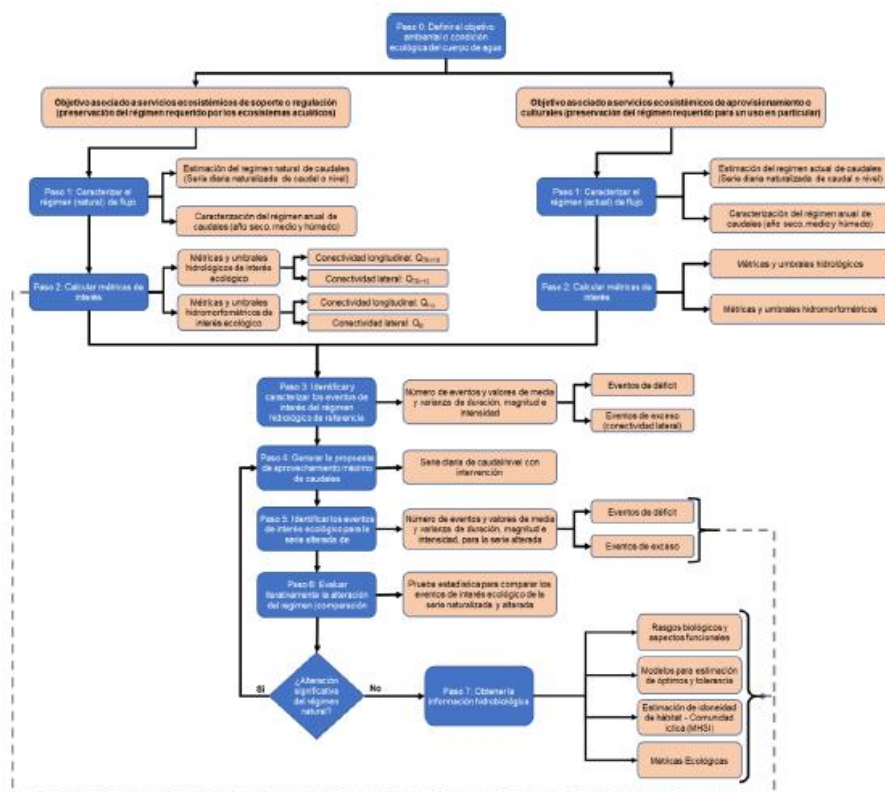


Figura 8. Diagrama de flujo para la aplicación del componente de análisis de funcionamiento ecológico. Tomado de la Guía río Bogotá Versión 2018

4. EVALUACIÓN SEGUNDA VERSIÓN DE LA GUÍA (NOV – 2018)

Si bien esta versión de la Guía tenía ámbito de aplicación Nacional, se pudo observar que en su mayoría retoma los elementos de la Guía del río Bogotá de 2018, realizando algunos cambios y ajustes. En concepto del grupo de trabajo UPME-CNO-XM los principales cambios realizados fueron:

- Se agregó un numeral asociado a la priorización de los cuerpos de agua donde *“Se proponen unos criterios mínimos de priorización a tener en cuenta, los cuales buscan identificar aquellos cuerpos de agua con menor grado de alteración, o con un interés especial de conservación, en los cuales la estimación y preservación del régimen de caudales ambientales será de especial interés para la Autoridad Ambiental”*. De esta forma la autoridad ambiental competente tendrá las cuencas priorizadas a la hora de aplicar la Guía.
- Se realizan algunas precisiones en los pasos 2 a 6 de la Fase 2 del Nivel 1 de la estructura metodológica, los cuales son usados para determinar los caudales ambientales y por ende los aprovechamientos. Dichos ajustes estuvieron basados en parte por las dificultades encontradas por el grupo de trabajo a la hora de aplicar la Guía Nacional de 2017 y los supuestos que fue necesario establecer en su momento.

En conclusión, en términos generales la estructura metodológica presentada en esta versión de la Guía es muy similar a la del río Bogotá de 2018, sobre todo en relación con la metodología en sí para determinar los caudales ambientales. De igual manera tampoco difiere sustancialmente de la Guía Nacional 2017 (si hay cambios, pero son más relacionados con la aplicación).

Por lo tanto, esta nueva evaluación no obedeció a cambios importantes realizados en dicha Guía, en la fase de estimación del caudal ambiental, que fueran necesarios incorporar en los análisis, sino más bien a las grandes diferencias que se encontraron entre los aprovechamientos obtenidos por el MADS en sus ejercicios internos y los obtenidos por el grupo de trabajo para el sector.

Para ilustrar un poco estas diferencias, en la Figura 9 se presentan los resultados mostrados por el MADS en la memoria justificativa que se presentó al momento de someter a consulta la Guía del río Bogotá 2018, y en la Figura 10 se presentan los porcentajes de aprovechamiento teóricos y reales obtenidos en la evaluación de la Guía Nacional 2017. De estas figuras se puede concluir lo siguiente:

- El porcentaje de aprovechamiento real para los ríos del sector en efecto es mucho menor que el porcentaje teórico, pasando incluso en algunos casos del 100% al 50%. Lo anterior se debe a que, una vez establecidos los aprovechamientos teóricos, se debe adicionalmente garantizar los caudales mínimos históricos mensuales que se han presentado en dichos ríos y por tanto el aprovechamiento real termina siendo mucho menor.

- Para los ríos evaluados por el grupo los aprovechamientos presentan variaciones importantes mes a mes, y en ningún caso se observan aprovechamientos como los obtenidos por el MADS, donde por lo menos en la mitad de los casos se tienen valores constantes del 95%.

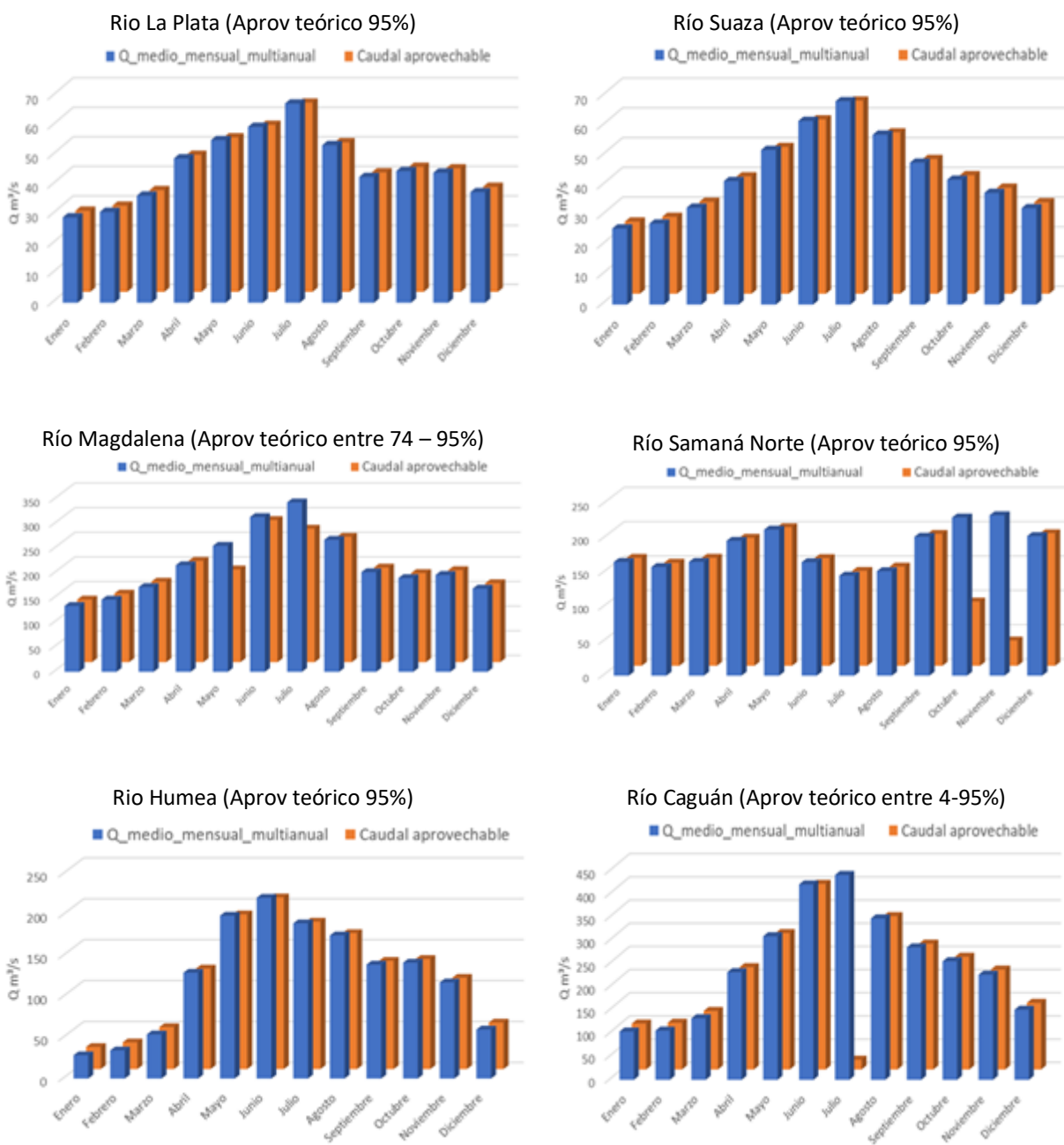


Figura 9. Aprovechamiento teórico estimado por MADS – Tomado de la memoria justificativa río Bogotá (documento F-A-GJR-07 Memoria Justificativa_Qamb_RB).

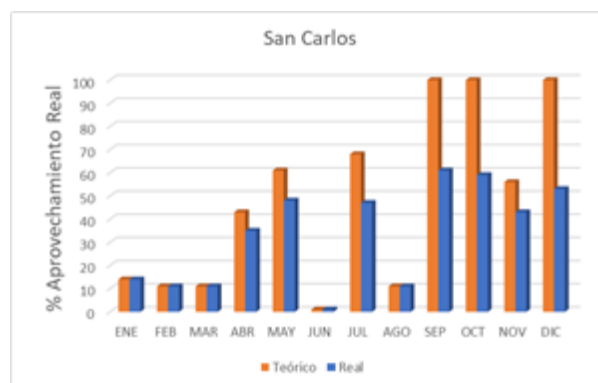
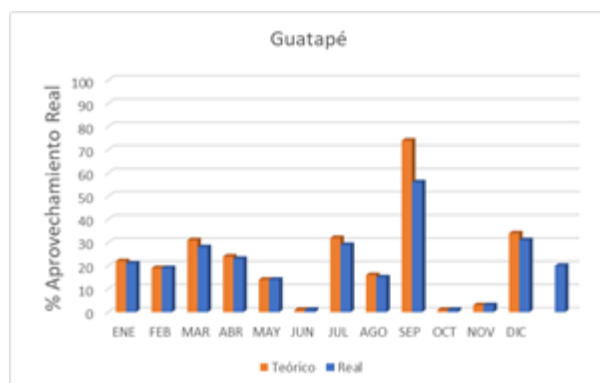
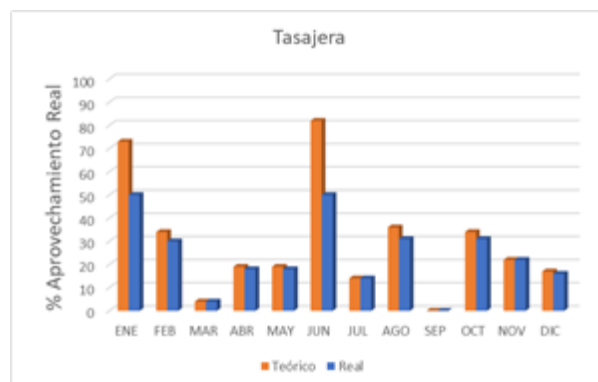
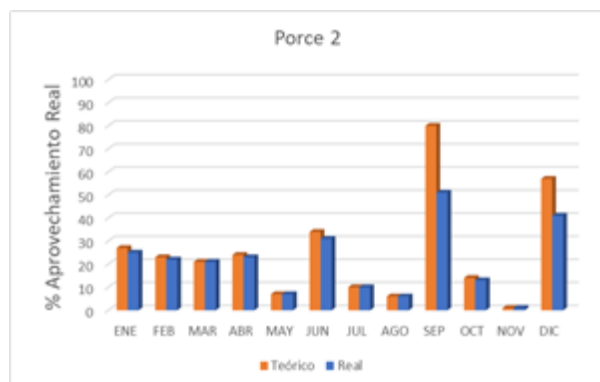
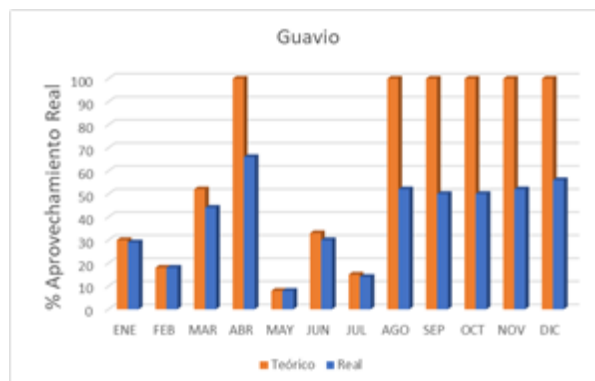
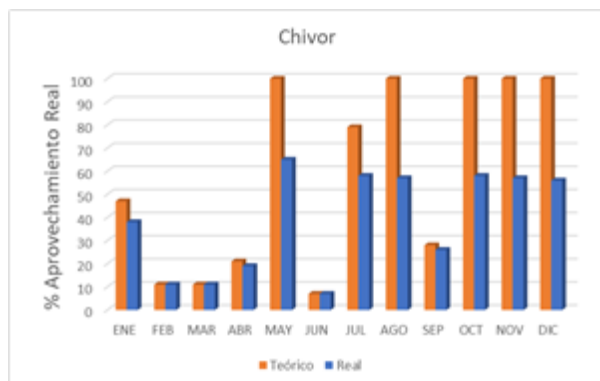
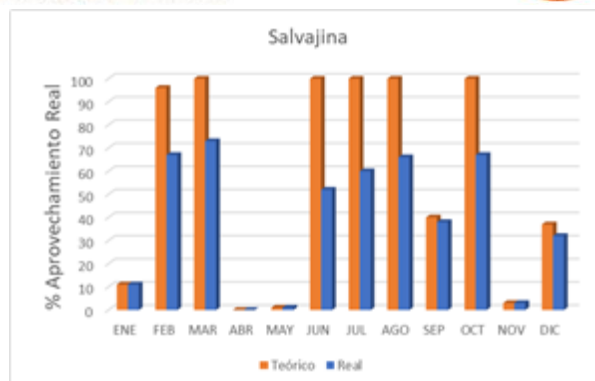
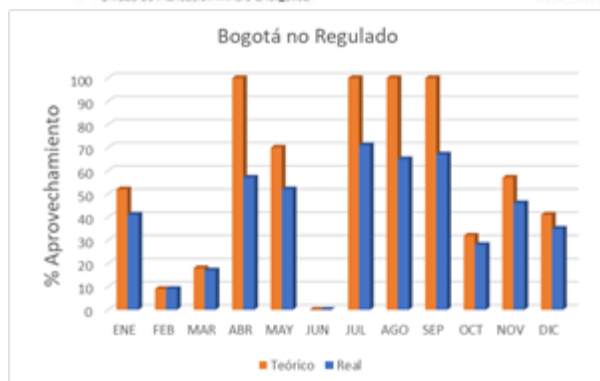


Figura 10. Porcentaje de aprovechamiento teórico y real con respecto al caudal promedio mensual multianual - Evaluación Guía Nacional 2017.

Por tanto, la primera actividad realizada en esta ocasión consistió en efectuar reuniones de trabajo del grupo con el MADS para verificar que se estuviera siguiendo el mismo paso a paso para determinar los caudales aprovechables, bajo los mismos supuestos.

Una vez acordados los aprovechamientos se procedió con la misma metodología usada para la evaluación realizada para la Guía Nacional de 2017, a partir de unos nuevos escenarios de expansión que definiría la UPME. A continuación, un resumen de los resultados encontrados.

Porcentajes de aprovechamientos teóricos y reales

En la Tabla 2 se presentan los resultados de los porcentajes de aprovechamiento reales para cada una de las 23 series hidrológicas analizadas en este caso, las cuales están asociadas únicamente a los proyectos hidroeléctricos en operación. En este caso no se incluyó el proyecto Ituango, pues para la fecha de la evaluación ya se había presentado la contingencia en el proyecto. En esta tabla igualmente se resaltan en rojo los valores de aprovechamiento entre 0 y 5 %, que implicarían como ya mencionó, que las centrales hidroeléctricas asociados a esos ríos no podrían operar durante esos meses; adicionalmente también en amarillo se resaltan los aprovechamientos entre 5 y 10 % que continúan siendo bastante bajos y que en algunos casos igualmente podrían implicar que las centrales no operarían durante dicho mes. En principio se observa que ya no se presentan tantos valores bajos como para impedir la operación de las centrales durante algunos meses, además en general se tiene que los aprovechamientos mejoran considerablemente (son mayores) con respecto a los obtenidos en la evaluación de la primera versión de la Guía Nacional.

En la Figura 11 se presentan gráficamente los aprovechamientos teóricos y reales para las mismas centrales que se presentaron en la evaluación de la Guía Nacional 2017 (ver Figura 4), pudiéndose observar de nuevo que en la mayoría de los ríos los aprovechamientos teóricos son mucho mayores a los reales.

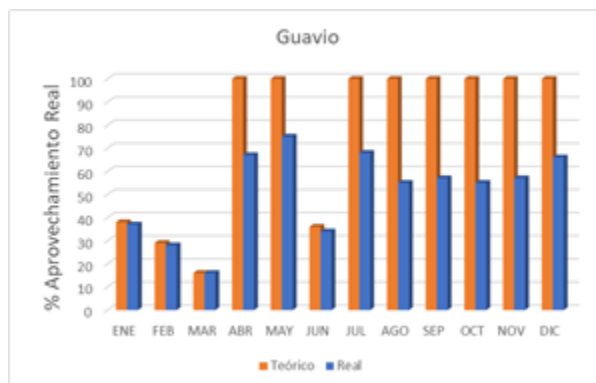
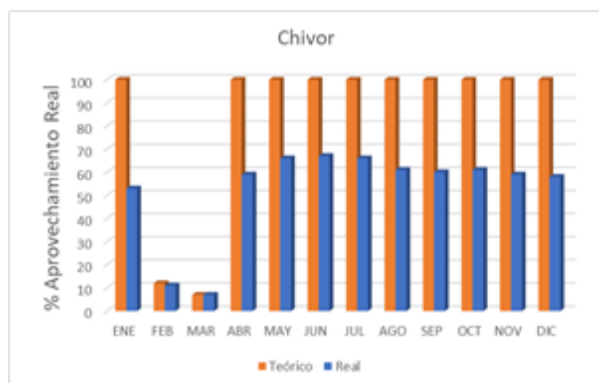
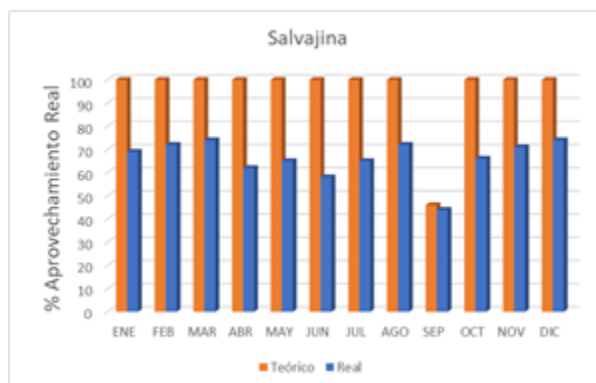
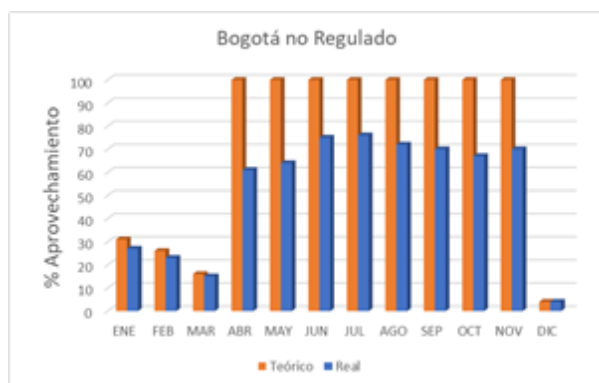
En la Figura 12 se puede ver, para algunas de las centrales analizadas, la comparación entre los aprovechamientos reales promedios obtenidos para las Guías Nacionales de 2017 y 2018, allí puede apreciarse cómo en general los aprovechamientos de la segunda evaluación son mucho mayores a los de la primera, lo cual se debe básicamente a que dentro de los supuestos acordados con el MADS para aplicación de la Guía 2018 se “relajaron” muchos de los criterios estadísticos que se usaban inicialmente para la de 2017. Adicionalmente estas figuras llaman bastante la atención, pues muestran que al “relajar” el problema se obtienen ciclos de caudales aprovechables totalmente distintos a los que inicialmente se habían obtenido, lo cual es preocupante, pues quiere decir que los ciclos de los caudales ambientales resultantes también se están cambiando, lo cual podría conducir a que no se estén logrando los objetivos ambientales inicialmente propuestos.

Tabla 2. Porcentaje de aprovechamiento teórico y real con respecto al caudal promedio mensual multianual - Evaluación Guía Nacional 2018.

SERIE - RÍO	Aprov.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Bog.No regulado	Teórico	31	26	16	100	100	100	100	100	100	100	100	4
	Real	27	23	15	61	64	75	76	72	70	67	70	4
Alto Anchicayá	Teórico	99	100	100	100	100	100	100	100	34	100	100	43
	Real	67	63	67	59	65	71	64	65	32	70	58	40
Bajo Anchicayá	Teórico	40	28	8	100	100	100	34	42	18	100	100	94
	Real	37	27	8	63	61	58	32	38	18	69	66	66
Calima	Teórico	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	79	100
	Real	74	71	73	78	79	80	77	75	69	72	67	72
Salvajina	Teórico	100	100	100	100	100	100	100	100	46	100	100	100
	Real	69	72	74	62	65	58	65	72	44	66	71	74
Chivor	Teórico	100	12	7	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Real	53	11	7	59	66	67	66	61	60	61	59	58
Prado	Teórico	9	5	100	100	100	100	38	19	22	100	100	100
	Real	9	5	62	68	68	73	35	19	20	62	66	65
Guavio	Teórico	38	29	16	100	100	36	100	100	100	100	100	100
	Real	37	28	16	67	75	34	68	55	57	55	57	66
Betania	Teórico	33	20	17	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Real	31	19	16	74	70	57	60	62	59	70	58	66
Jaguas	Teórico	58	11	39	22	100	100	100	99	100	100	100	60
	Real	42	11	33	21	60	55	53	57	62	61	60	46
Playas	Teórico	100	29	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Real	75	29	72	65	72	63	68	69	71	76	62	71
Neusa	Teórico	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Real	64	59	61	60	65	66	67	69	71	64	58	62
Chuza	Teórico	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Real	61	52	57	68	72	72	74	73	71	71	71	64
Porce3	Teórico	10	12	13	100	20	100	100	100	100	100	100	100
	Real	10	12	13	56	19	58	52	51	54	58	55	57
Porce2	Teórico	22	22	14	15	100	33	100	100	100	18	38	100
	Real	22	21	14	15	64	30	52	51	59	17	32	63
Sisga	Teórico	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Real	42	40	48	50	65	68	71	63	67	67	65	51
Tominé	Teórico	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Real	41	42	47	50	63	68	73	74	71	59	59	53

Tabla 2. Continuación.

SERIE - RÍO	Aprov.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tasajera	Teórico	26	31	23	13	100	78	100	21	9	6	58	36
	Real	25	29	22	13	61	51	54	20	9	6	50	34
San Carlos	Teórico	16	7	7	100	100	100	100	6	100	100	100	100
	Real	16	7	7	60	64	60	58	6	68	61	60	56
Guadalupe	Teórico	34	37	35	31	86	100	100	100	100	100	100	100
	Real	33	36	33	31	61	68	61	74	72	66	67	73
Urrá	Teórico	36	11	4	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	Real	34	11	4	66	65	60	58	60	55	70	58	60
Guatapé	Teórico	12	18	12	4	19	100	13	34	100	100	100	29
	Real	12	17	12	4	18	70	13	31	71	73	67	28
Miel	Teórico	100	100	100	100	100	100	13	19	60	100	100	100
	Real	68	69	57	67	63	57	12	17	46	69	63	70



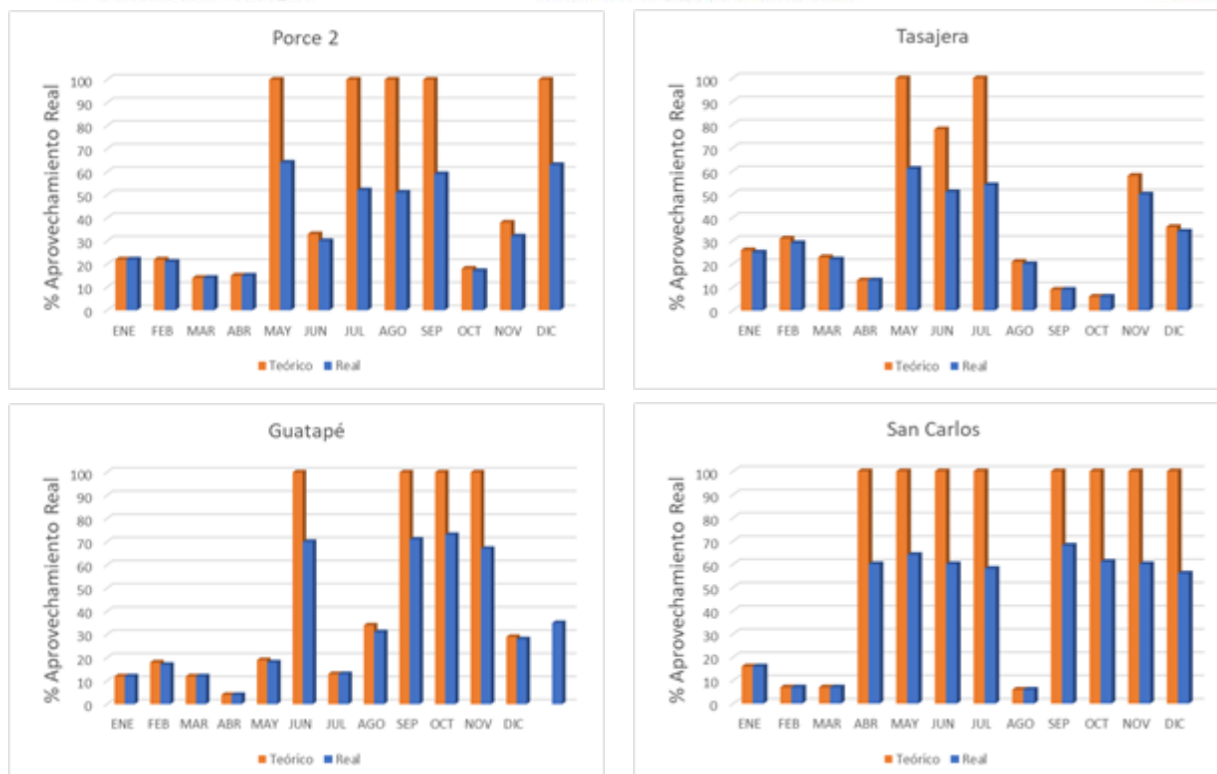


Figura 11. Porcentaje de aprovechamiento teórico y real con respecto al caudal promedio mensual multianual - Evaluación Guía Nacional 2018.

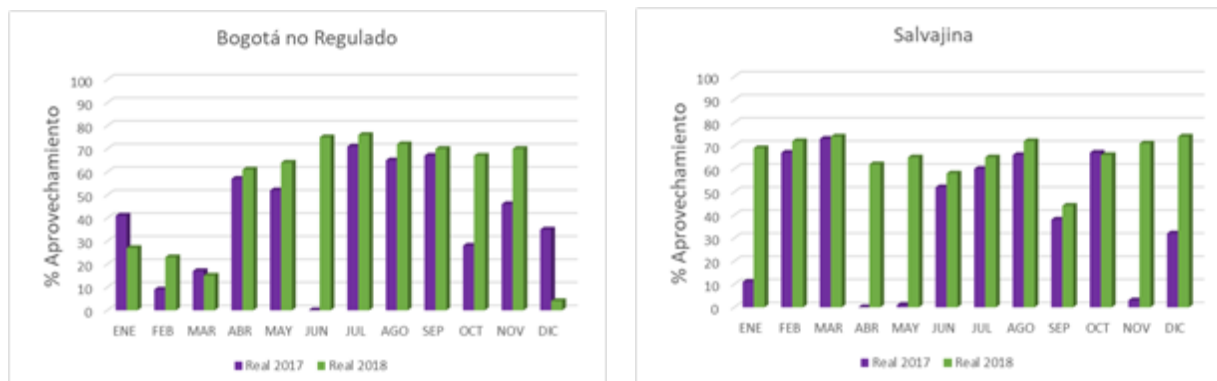




Figura 12. Porcentaje de aprovechamiento real con respecto al caudal promedio mensual multianual para la evaluación de la Guía Nacional 2017 y 2018.

5. EVALUACIÓN DE LA GUÍA PARA EL RÍO BOGOTÁ

En marzo de 2019 el MADS compartió una nueva versión de la Guía y solicita la evaluación en el sector eléctrico con prioridad para el Río Bogotá. Para esto, se solicita a EMGESA información de sus activos y las concesiones vigentes para realizar una prueba piloto en el tramo de Alicachín, que en principio sería un tramo con objetivo asociado a servicios ecosistémicos de aprovisionamiento o culturales, y no de soporte o regulación, debido a las condiciones actuales del río en este punto.

El 24 abril de 2019 se llevó a cabo una reunión en instalaciones del MADS con la participación de la CAR, MADS, CNO, EPM, XM y EMGESA, con el fin de evaluar la metodología paso a paso en el caso menos restrictivo, es decir, para servicios de aprovisionamiento o culturales. En el desarrollo de la reunión el MADAS mencionó que el objetivo ambiental lo debía determinar la CAR, quien mencionó que por ahora el objetivo ambiental era de aprovisionamiento pero que esto podría cambiar en el tiempo conforme se fueran mejorando las condiciones de calidad de agua en el río y que el caudal ambiental de 1 m³/s actual podría cambiar por la entrada de nuevos usuarios.

El objetivo de la reunión no se pudo cumplir debido a que no se tenían datos suficientes y a que la CAR no tenía establecidas unas métricas. La CAR mencionó que debe conocer el funcionamiento detallado del sector eléctrico y de la operación en Alicachín para construir métricas de interés.

Como compromiso de esta reunión se debían entregar al día siguiente los criterios del sector eléctrico que debían tenerse en cuenta en la construcción de las métricas de interés con el fin de ser incluidos en la metodología por parte del MADS.

Luego de una reunión en el CNO, se acordó que solo EMGESA suministrará la información solicitada por el MADS, debido a que se trataba de la metodología de caudal ambiental para el Río Bogotá. Los criterios solicitados fueron enviados posteriormente junto con sus justificaciones por parte de EMGESA al MADS. A continuación, se mencionan dichos criterios:

- Garantizar la atención de la prestación del servicio público de energía eléctrica del sistema nacional colombiano.
- Garantizar la atención de la demanda de forma segura y confiable en escenarios de baja hidrología del SIN.
- Garantizar la calidad del servicio de frecuencia del SIN en estado normal de operación.
- Garantizar la calidad del servicio de frecuencia del SIN ante eventos fortuitos (desviaciones de demanda, salida de activos de transmisión y/o generación).
- Operación económica del Sistema.
- Soporte de voltaje para el área oriental (Bogotá y Meta).
- Control de restricciones (indisponibilidades o limitaciones de la red de transmisión, localización de demanda) del área oriental (Bogotá y Meta).
- Planificar los mantenimientos de red o en generación para minimizar el riesgo en la atención de la demanda.
- Soportar el crecimiento de la demanda del área Oriental y a nivel nacional el atraso de los proyectos de la red previstos para disminuir las restricciones.

- Soportar la flexibilidad del sistema ante la futura expansión de generación con Fuentes de Energía Renovables No Convencionales – FERN-C- cuyo comportamiento es de alta variabilidad.
- Minimizar las emisiones de CO₂ a través de la generación con plantas hidráulicas.
- Garantizar el óptimo rendimiento y la vida útil de los activos de generación.
- Condiciones por altos caudales (manejo de inundaciones).
- Condiciones por calidad del agua (efectos no deseados).
- Condiciones de mercado, señales regulatorias y normativas.

En diciembre de 2019 el MADS finalmente emitió la Resolución 2130 por la cual se expide la metodología para la estimación del caudal ambiental en el río Bogotá, dando cumplimiento al fallo del Consejo de Estado y dejando la aplicación de la misma en manos de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.

En la metodología final del Río Bogotá fueron incluidos de manera tangencial (en el cuerpo del documento) los criterios suministrados al MADS y fue incluido un cambio importante en la Fase 2 del Nivel 1, al eliminar el paso 3 y ajustar la descripción del paso 2 cuando el objetivo ambiental es de aprovisionamiento o cultural (ramal derecho). Ver Figura 13.

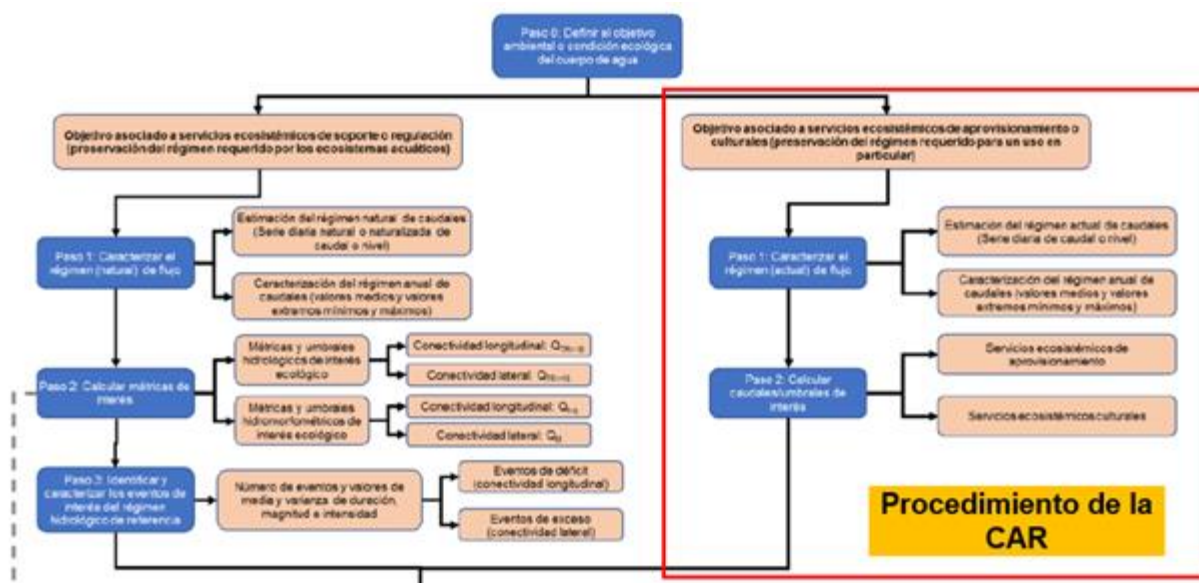


Figura 13. Zoom diagrama de flujo para la aplicación del componente de análisis de funcionamiento ecológico. Tomado de la Guía río Bogotá. Res. MADS 2130 de 2019.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A grandes rasgos la guía no ha tenido grandes cambios a lo largo de los trabajos realizados y se podría esperar, bajo los mismos supuestos, que los impactos ya cuantificados para la primera versión sigan siendo del mismo orden.
- La aplicación para el objetivo ambiental de aprovisionamiento y cultural no se ha realizado pues a hoy no es claro cómo se determinarían las métricas de interés, que son requeridas para la determinación de dicho caudal.
- Se podría anticipar que los impactos estimados por UPME-CNO-XM no cambien de manera importante, bajo los mismos supuestos considerados. Es decir, se considera que los resultados presentados siguen siendo válidos y dan una idea de la implementación de la Guía, considerando en su aplicación las métricas asociadas a conservación y restauración.
- Teniendo en cuenta la incertidumbre en la definición de la condición deseada de las cuencas, dado que es competencia de las corporaciones ambientales regionales y de la discreción de estas entidades en la aplicación de la Guía, un escenario de aplicación a todos los ríos del sistema interconectado Nacional, bajo condiciones de conservación, es inviable desde el punto de vista de la confiabilidad en la atención de la demanda.
- Para los principales embalses del SIN se observó que, durante las épocas de mayores afluencias donde el embalse tiene un régimen de almacenamiento para su posterior descarga en verano, se presentan los menores porcentajes de aprovechamiento. Esta situación va en contraposición del diseño y funcionamiento de un recurso hidroeléctrico con embalse.
- Es importante añadir que, si bien la guía presenta una metodología para el cálculo de los aprovechamientos, podrían aparecer diferencias y sesgos dependiendo de quiénes lleven a cabo la evaluación, dado que los límites de caudal aplicables pueden variar y, por ende, el número de eventos contabilizados para el cálculo.
- Si bien se han realizado cambios en los supuestos acordados para evaluar el impacto de la Guía en el sector, no todos están plasmados en la última versión Nacional ni en la del río Bogotá. Adicionalmente estos supuestos deben discutirse en mayor profundidad, pues como se mostró en las evaluaciones presentadas, un cambio en los supuestos puede conducir a ciclos de caudales aprovechados muy distintos, lo cual se vería igualmente reflejado en los caudales ambientales.
- La aplicación para el objetivo ambiental de aprovisionamiento y cultural no se ha realizado, pues a hoy no es claro cómo se determinarían las métricas de interés que son requeridas para la determinación de dicho caudal.