

Consultoría para la Simulación de Reglas Operativas Definidas en los Estudios de Despacho Vinculante, Mercado Intradiario y Servicios Complementarios

Informe de Avance 1: Metodología y Plan de Trabajo – Revisión 1

Preparado Para: Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)



Septiembre 2019

CONTENIDO

1	Objeto y Alcance del Trabajo-----	3
1.1	Objeto -----	3
1.2	Alcance-----	3
2	Metodología Propuesta -----	9
2.1	Introducción-----	9
2.2	Metodología y Estrategia -----	10
3	Equipo Propuesto -----	19
3.1	Personal clave -----	19
3.2	Personal de Apoyo-----	21
3.3	De PSR-----	22
4	Entregables y Work-Shop -----	25
4.2	Plan de Trabajo: cronograma detallado e hitos relevantes -----	27
5	Referencias -----	29

1 OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO

1.1 Objeto

El objetivo de este trabajo es:

- Desarrollar la integración de las reglas operativas de despacho y de liquidación propuestas en los estudios de Despacho Vinculante y Mercado Intradiario y el estudio de servicios complementarios¹;
- Desarrollar un modelo para simulación de las reglas de despacho y liquidación mencionadas anteriormente;
- Simular el sistema colombiano bajo de las reglas de despacho y liquidación considerando escenarios de sensibilidad de común acuerdo con la CREG.

1.2 Alcance

El alcance de la consultoría se define, en los términos de referencia, de la siguiente forma:

- a) **Revisión de los estudios.** Se realizará una revisión de los estudios de Despacho Vinculante, Mercado Intradiario y Servicios Complementarios publicados en las circulares CREG 005 y 008 de 2019.
- b) **Recopilación de información del SIN.** Se recopilará la base de datos del Sistema Interconectado Nacional (SIN) para poder realizar las simulaciones que se mencionan en el objeto de la consultoría. Se deberá interactuar con el operador del sistema para adelantar esta tarea.
- c) **Integración mercados energía y servicios complementario.** Se propondrá en una reunión con la CREG un modelo conceptual integrado que permita hacer la simulación de las reglas operativas y de liquidación de los mercados: energía y servicios complementarios. Este modelo contemplará como mínimo: co-optimización, energía y servicios de reserva, mercado con despacho

¹ Las reglas operativas de despacho y de liquidación fueron propuestas en los estudios de Despacho Vinculante y Mercado Intradiario y de Servicio Complementarios, publicaciones Circular , publicados, respectivamente, en las circulares CREG 005 y 008 de 2019.

vinculante y mercados intradiarios y mecanismo de balance entre la operación real y compromisos comerciales. Se definirán como se tratarán las diferencias entre los dos estudios, entre otros sí se realizarán ofertas de servicios complementarios para las sesiones del mercado intradiario, en el estudio de la circular CREG 005 de 2019, se estableció que el despacho vinculante es el que incluye la red (despacho económico), no obstante, el consultor podrá hacer simulaciones con las dos alternativas.

- d) **Desarrollo de Modelo de Simulación.** Se desarrollará el modelo de despacho económico considerando la co-optimización para el despacho de energía (despacho vinculante y mercados intradiarios) y los servicios de reserva (primaria, secundaria y terciaria) de acuerdo al modelo conceptual integrado que resulte del literal c) anterior. El despacho ideal se formulará igual al despacho factible sin las restricciones de la red.
- e) **Realización de simulaciones.** Se realizarán las simulaciones de despacho para el día de operación, considerando varios despachos intradiarios. La simulación se realizará para la situación actual (2019) y lo que se espera para el 2023. La situación actual se escogerá un día de agosto de 2019 cuya información será suministrada por el operador que contendrá información de entrada, asignación de reserva secundaria, despacho económico del día D-1, redespachos, generación real, demanda real, precio de bolsa y sus componentes y liquidación de las transacciones., Este resultado será comparado con el modelo de co-optimización y los mercados intradiarios simulados.
- f) Los análisis contemplarán que para el año 2023 se cuentan con las plantas eólicas y solares que salieron asignadas en la subasta del cargo por confiabilidad para el periodo 2022-2023 y los proyectos que tengan planeada su entrada anterior al año 2023. Se analizarán diferentes escenarios de integración de renovables acordados con la CREG.
- g) **Identificación de riesgos en la operación** Se analizarán los riesgos operativos que hacen que la operación real sea diferente al resultado de los despachos intradiarios con el objeto de recomendar el número de sesiones intradiarias que minimice los desvíos y que hagan factible su ejecución por los tiempos

necesarios para que los agentes realicen las ofertas y para que XM realice los respectivos procedimientos, de tal forma que el CND asegure el cumplimiento de los criterios de calidad y seguridad establecidos por la regulación.

- h) **Solución a problemas en reglas de despacho y servicios de reserva.** Se propondrán soluciones a los problemas identificados en las reglas de despacho de la energía y los servicios de reserva.
- i) **Realización de la liquidación.** Se realizarán las simulaciones para establecer los precios de la energía y la reserva para adelantar la liquidación del mercado de energía (despacho vinculante y mercado intradiario), mecanismo de balance y los servicios de reserva (primaria, secundaria y terciaria).
- j) **Comparación de resultados.** Se realizará una comparación entre los resultados que surgen de la aplicación de las propuestas de los mercados de energía y servicios de reserva con las reglas operativas y comerciales actuales. Con el objetivo de identificar si el cambio vale la pena, es decir, si habría una reducción de costos en la operación y contabilizar otros beneficios que se identifiquen por la mayor flexibilidad.
- k) **Taller de presentación.** Se presentarán los resultados del estudio en un taller que será convocado por la CREG.

Como resultado de este trabajo se programaran 7 entregables, como se describe a continuación:

1) Informe metodología y plan de trabajo

A la segunda (2) semana posterior a la suscripción del acta de inicio, se entregará para aprobación de la CREG un informe en donde se sustente la metodología propuesta y plan de trabajo que se aplicará para desarrollar lo mencionado en los literales a al j del numeral del numeral 7 “obligaciones de cada una de las partes” del contrato 2019-064. Se deberá presentar y realizar una propuesta para las fechas de entrega de los informes que se presentan en los siguientes literales en este numeral.

Se entregará el cronograma detallado para la ejecución del estudio considerando el tiempo y los recursos propuestos para cada actividad. La

presentación de los informes se hará en las oficinas de la CREG y reuniones adicionales podrán ser presenciales o virtuales de acuerdo con lo que se establezca en el plan de trabajo.

En el plan de trabajo se plantearán jornadas de trabajo con la CREG y el Operador del Mercado (XM S.A. E.S.P.).

2) Informe integración mercados energía y servicios complementarios;

Se presentará un informe con el modelo conceptual integrado que permita hacer la simulación de las reglas operativas y de liquidación de los mercados, tal como está definido en el literal c, “Integración mercados energía y servicios complementarios”, de las obligaciones del contrato .

3) Informe metodología de modelación;

Se presentará un informe con la metodología y descripción de modelación y se identifique el software o desarrollo propio a utilizar y las características del modelo matemático (restricciones, la función objetivo a optimizar, las variables y parámetros). Además, se debe identificar la información necesaria para el desarrollo del modelo de qué trata el literal d, “Desarrollo de Modelo de Simulación”, de las obligaciones del contrato.

Así mismo, se presentará qué resultados se podrán observar del modelo. En todo caso, dichas opciones de presentación de resultados podrán ampliarse de acuerdo con las necesidades que surjan en el transcurso del desarrollo del contrato y del desarrollo del modelo, que será desarrollado utilizando herramientas de libre acceso o herramientas que la comisión tenga licencia (por ejemplo, el paquete office y el paquete de optimización CPLEX).

Previo a la entrega del presente Informe, si se requiere, se podrán adelantar reuniones con la CREG y/o el CND para aclarar los aspectos de modelación a que haya lugar.

4) Informe Simulaciones;

Se presentará un informe con el resultado de las simulaciones realizadas, identificación de riesgos en la operación y las propuestas de solución a los problemas de despacho y servicios de reserva para cumplir con lo establecido en los literales e, f y g, del numeral 3 de las obligaciones del contrato.

Los casos a simular serán acordados con la CREG una vez se haya cumplido con la entrega del Informe de avance 3. En todo caso, se presentará una propuesta de diferentes simulaciones a realizar.

5) Informe Liquidación y comparación de resultados;

Este informe incluirá la realización de la liquidación y comparación de resultados de que trata lo establecido en los literales h e i, “Realización de la liquidación” y “Comparación de resultados”, del numeral 3 de las obligaciones del contrato .

6) Taller de presentación;

Se presentarán los resultados de la investigación, análisis y modelación de que tratan los informes de avance 2, 3, 4 y 5 en un taller que será convocado por la CREG. La CREG se encarga de definir el sitio para el mismo.

7) Informe final.

Se entregará el informe final donde se consoliden los informes de avance 1, 2, 3, 4 y 5. Se incluirán los análisis de los comentarios que se hagan con ocasión del taller.

Con el informe final, se entregará el manual de modelo de simulación de que trata el literal d., “Desarrollo de Modelo de Simulación” de las obligaciones del contrato. El manual será lo suficientemente específico para que la CREG pueda realizar simulaciones.

A continuación, se presenta un programa de trabajo detallado; Calendario de hitos, tiempos para cada actividad y diagrama de Gantt, teniendo en consideración que, de acuerdo a los TDR, las fechas definitivas de entrega de informes serán acordadas con la CREG en las primeras dos semanas.

Este informe se constituye en el primero entregable del trabajo, el *informe metodología y plan de trabajo*, y está organizado de la siguiente forma:

- La siguiente sección detalla la metodología propuesta para desarrollar las actividades requeridas en el alcance de la consultoría;

- Se presenta en la secuencia el equipo del Grupo Consultor que estará involucrado para ejecución de las actividades programadas para cumplir con los objetivos de la consultoría;
- Y en la última sección se detalla el plan de trabajo propuesto para la consultoría, en que se proponen fechas para la entrega de los informes solicitados como resultados; se presenta el cronograma detallado de las actividades, especificando el tiempo de cada actividad y recursos involucrados (equipos clave y de apoyo) y una propuesta de reuniones de acompañamiento de las actividades entre la CREG, XM y los equipos de trabajo de la consultoría.

2 METODOLOGÍA PROPUESTA

Se detalla a continuación los aspectos metodológicos, organizacionales y de recursos para alcanzar los objetivos del presente contrato.

2.1 Introducción

El sistema eléctrico colombiano está conformado principalmente por generación hidráulica y térmica, en los últimos años se ha venido promoviendo la incorporación de generación a partir de fuentes no convencionales de energía como es el caso de la energía solar y eólica.

De acuerdo con la información publicada por XM a diciembre de 2018, las centrales hidráulicas representan un 69% de la capacidad instalada (64% mayores a 20MW y 5% menores a 20 MW) y térmicas a gas, combustibles líquidos y a carbón con un 22% de la capacidad instalada. La utilización de combustibles líquidos se debe a la escasez de oferta de gas para las plantas térmicas a gas localizadas en el interior del país. La capacidad efectiva instalada a diciembre de 2018 es de 17,312.53 MW. El sistema cuenta con 23 embalses utilizados para la regulación y almacenamiento de energía, la capacidad de regulación que tienen estos embalses representa cerca del 20% de la demanda anual del sistema. En el año 2018, la generación anual de energía eléctrica en Colombia fue de 68,943 GWh, 3.4% por encima de la registrada en 2017 para este mismo período (66,667 GWh). Este crecimiento está asociado principalmente con el aumento en la demanda del Sistema Interconectado Nacional (SIN).

La política energética de Colombia, mediante la Ley 1415 de 2014, plantea la promoción de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER) y en concordancia con esta política el Gobierno fijó una meta para el año 2022 de tener, integrados al Sistema Interconectado Nacional, mínimo 1500 MW de estas fuentes. El cumplimiento de dicha meta ha tenido un importante avance con el resultado de la subasta del cargo por confiabilidad del 28 de febrero de 2019², con 1,159.95 MW en generación eólica y 238 MW en energía solar, para un total de 1,398 MW de

² Resultados publicados por www.xm.com.co. En la subasta del cargo por confiabilidad fueron asignadas 23 plantas (sólo 20 presentaron garantías), las 20 plantas con garantías tienen una OEF de 31.5 GWh-día y una capacidad efectiva neta (CEN) 3593 MW.

FNCER. Adicionalmente, se espera incrementar esta capacidad como resultado de la subasta de largo plazo que ha programado el Ministerio de Minas y Energía para el último trimestre de 2019. Por otro lado, la regulación ha incentivado la generación fotovoltaica a pequeña escala creando condiciones adecuadas mediante la resolución CREG 030 de 2018

La necesidad de modernizar el mercado de corto plazo para permitir tener mayor flexibilidad requerida para las transacciones comerciales y para la operación fue identificada por la CREG para mitigar una serie de problemas asociadas con la desoptimización de los recursos de PCH, el reiterado abuso de los redespachos, el desacople con el mercado mayorista de gas, así como la penetración de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), que si bien permiten reducir la necesidad de despachar plantas de generación de alto costo (operación y mantenimiento), genera una mayor variabilidad en la operación de tiempo real.

La solución que se ha escogido es la implementación del despacho vinculante y el mercado intradiario y la adecuación de los servicios complementarios. Para tal efecto, la CREG contrató en el año 2018 la Consultoría para el análisis de los servicios complementarios para el sistema interconectado nacional (SIN) y el Estudio para la modernización del despacho vinculante y el mercado spot de energía eléctrica - despacho vinculante y mercados intradiarios. En este documento se presenta la propuesta técnico-económica para realizar la consultoría para la simulación de reglas operativas definidas en los estudios de despacho vinculante, mercado intradiario y servicios complementarios. Específicamente en este numeral se describe la metodología y estrategia para el desarrollo de dicha consultoría.

2.2 Metodología y Estrategia

Para desarrollar la metodología propuesta, se utiliza el orden definido en alcance del contrato de los TDR:

2.2.1 Revisión de los estudios

En esta primera etapa se presentará un diseño inicial integrado de los mercados de energía y servicios complementarios basado en la revisión de los estudios previos, de Despacho Vinculante y Mercado Intradiario; y de Servicios Complementarios, publicados en las circulares CREG 005 y 008 de 2019 [1, 2]. Se efectuará el análisis

y un diagnóstico detallado de los productos vendidos en cada mercado; cómo los propietarios de las unidades de generación realizan las ofertas de suministro en cada mercado; los tiempos de operación de cada mercado; las restricciones de transmisión y operativas y cómo debieran coordinarse ambos mercados.

El resultado de esta actividad, una revisión de las propuestas para los despachos vinculantes, mercado intradiario y servicios complementares, será parte del segundo informe de avance de la consultoría, el informe de *integración mercados energía y servicios complementarios*.

2.2.2 Recopilación de información del SIN

En conjunto con el operador del sistema, se confeccionará la base de datos del Sistema Interconectado Nacional (SIN) para poder realizar las simulaciones de los puntos siguientes.

El resultado de esta actividad será una descripción de la actividad de recopilación de las informaciones del SIN que serán utilizados para la construcción del modelo de simulación del sistema colombiano, descripción que será incluida como parte del segundo informe de avance, el *informe de integración mercados energía y servicios complementarios*.

2.2.3 Integración mercados energía y servicios complementarios

La figura a continuación ilustra el proceso propuesto para la integración de los mercados de energía y servicios complementarios, que sería utilizado para optimizar las ofertas de energía y servicios complementares en la operación diaria del mercado colombiano.

SIMULACIÓN DE REGLAS OPERATIVAS DEFINIDAS EN LOS ESTUDIOS DE DESPACHO
VINCULANTE, MERCADO INTRADIARIO Y SERVICIOS COMPLEMENTARIOS

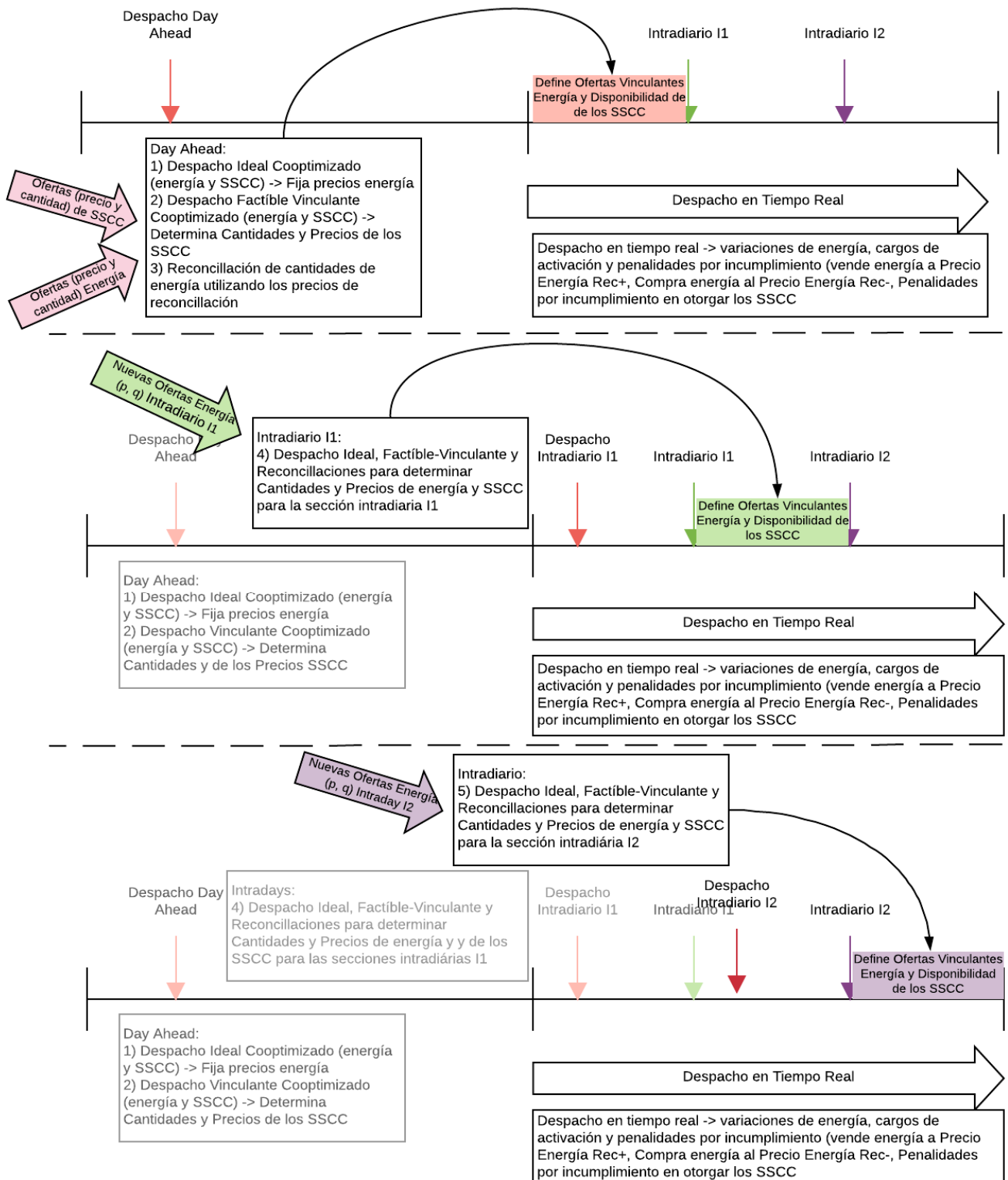


Figura 1 – Proceso para la integración de los mercados de energía y servicios complementarios

Para simular este proceso se propone implementar los siguientes pasos, que serán brevemente detallados en la secuencia de este informe:

- a) Simulación del mecanismo para las ofertas de energía y de servicios complementares, tanto para el mercado “day ahead”, como también para los mercados intradiarios³;
- b) Simulación del *despacho ideal*, *despacho factible* y *mercados intradiarios*;
- c) Simulación del *despacho real*;
- d) Simulación de las *reconciliaciones* que aparecen entre sesiones de los mercados “day-ahead” e intradiarios; y los mecanismos de balance entre el despacho real y los despachos factibles;

Para estimar las ofertas de los agentes se supone competencia perfecta y que los agentes del mercado ofertan sus costos, tanto para el mercado de energía como también para los mercados de servicios complementares, paso (a) del procedimiento anterior, se propone utilizar resultados de estudios de planificación de la operación del sistema colombiano con modelo de despacho SDDP (conocido en Colombia de modelo MPODE)⁴.

Los principales resultados de la simulación del sistema de Colombia que serán considerados para estimar las ofertas de los agentes serán las estimativas de costo marginal de demanda, de precio marginal de las restricciones de reserva operativa y de costos de oportunidad de las centrales hidroeléctricas, térmicas y renovables. Las bases de datos del modelo SDDP, utilizadas para estimar las ofertas estratégicas

³ De acuerdo a los estudios previos [1, 2], las ofertas de precio y cantidad para los SSCC serían las mismas para todos los intradiarios, mientras que las ofertas de energía podrían cambiar a cada sección del intradiario. Este concepto será verificado durante la ejecución del estudio.

⁴ El grupo consultor analizará las representaciones del sistema colombiano en el modelo SDDP indicadas por la CREG e implementará, en conjunto con la CREG, los cambios necesarios para permitir una buena estimación de las ofertas estratégicas de los agentes para los mercados de energía y servicios complementarios. Las representaciones del sistema colombiano deben considerar, como mínimo, un horizonte hasta 2023. En caso de que no exista tal representación, el grupo consultor utilizará una representación propia.

de los agentes para los mercados de energía y servicios complementarios, serán entregadas a la CREG.

Para el paso (b) se propone desarrollar un modelo integrado de despacho que permita hacer la simulación de las reglas operativas de los mercados de energía y servicios complementarios. Este modelo será utilizado para:

- Simular el despacho ideal para el “day ahead”, cuyo objetivo es únicamente determinar los precios de energía en el mercado mayorista. Este modelo para el despacho ideal corresponde a reproducir el despacho ejecutado por XM para determinación del precio de energía en que no se consideran las restricciones de la red de transmisión del sistema interconectado colombiano, pero se modelan restricciones operativas de corto plazo, por ejemplo restricciones de unit commitment, de rampas, mínimo up/down-time etc.;
- Simular el despacho económico coordinado (también denominado de factible), que corresponde al despacho ideal antes definido, pero incluyendo todas las restricciones de transmisión preespecificadas, el cual mediante un proceso de co-optimización define las cantidades de servicios complementarios requeridos y sus precios, así como las cantidades de energía vinculantes;
- Simular el funcionamiento de los mercados intradiarios, en donde se considerarán cambios en las ofertas de energía y SSCC³;

Para el paso (c), la simulación del *despacho real*, se propone desarrollar simulaciones operativas detalladas utilizando la versión horaria del modelo SDDP, que permite representar, además de las restricciones físicas para la producción de electricidad en centrales renovables (por ejemplo, disponibilidad de agua, viento y radiación solar), unit commitment, generaciones mínimas y máximas, inflexibilidades de plantas hidráulicas y de térmicas tales como: minimum uptime y downtime, el modelado de la red de transmisión etc. El modelo es ampliamente utilizado por agentes en Colombia, incluyendo XM y UPME; y el grupo Consultor PHC y PSR tiene mucha experiencia en el manejo y calibración del modelo para estudios en el país. Además, PSR ha desarrollado el año 2018 un modelo operativo detallado para el US Pacific Northwest, Genesys 2, que representa el proceso sucesivo de: (i) programación operativa con horizonte semanal; (ii) actualización “day ahead” de esta programación a cada día (pronósticos de demanda, producción renovable y otros); (iii) actualización

“three hour ahead”; y (v) ajuste a cada hora (tiempo “real”) para los valores actuales de los parámetros pronosticados.

El SDDP horario que se ejecutará representará cambios posibles en los supuestos considerados en el paso (a) - ofertas estratégicas de los agentes - para simular cambios en la demanda, en la disponibilidad de viento y sol, falla en las unidades de generación y en líneas de transmisión. Una vez que ocurran cambios con respecto a la operación real previamente estimada, el SDDP horario será ejecutado con el objetivo de ajustar la operación real a los escenarios previstos para el *despacho real* (“*true up*”). Las diferencias entre el despacho vinculante (day-ahead e intradiarios) y tiempo real serán valoradas en el paso (d) por el mecanismo de balance.

Para el paso (d), simulación de las reconciliaciones entre las diferentes sesiones; serán desarrolladas macros utilizando el Excel de Microsoft que considerando los resultados producidos en los pasos (b) y (c).

El resultado de esta actividad será un informe detallando la metodología que será utilizada en el proceso de simulación del funcionamiento de los mercados de energía y servicios complementarios, metodología que será utilizada para calcular las reconciliaciones entre las varias secciones de despacho ideal y factible (day-ahead y intradiarios) y diferencias con el despacho real. El informe también incluirá un breve descripción del modelo conceptual del modelo de simulación que será desarrollado por el Grupo Consultor PHC-PSR, para ser utilizado en el paso (b) de la metodología para la simulación. Estos resultados también serán parte del segundo informe de avance, denominado de *informe de integración mercados energía y servicios complementarios*.

2.2.4 Desarrollo del modelo de simulación

Como se ilustra anteriormente, para simular el proceso propuesto para la integración de los mercados de energía y servicios complementarios será necesario el desarrollo de un modelo para la simulación del despacho ideal, despacho factible y mercados intradiarios. Este modelo integrado de despacho será desarrollado por el Grupo Consultor PHC-PSR y será entregado como resultado de la consultoría. Para el desarrollo de este modelo se tendrá en cuenta lo solicitado en los términos de referencia con respecto a utilización de herramientas de libre acceso o herramientas que la comisión tenga licencia (paquete office y CPLEX).

El tercer informe de avance, denominado de *informe de metodología de modelación*, incluirá una especificación detallada sobre el modelo para simulación del despacho ideal, despacho vinculante, intradiarios y SSCC, que incluirá las características del modelo matemático (restricciones, la función objetivo a optimizar, las variables, parámetros etc.).

Este informe también contendrá una descripción de qué resultados se podrán observar cómo salida del modelo de simulación⁵ y una propuesta sobre qué casos serán considerados en las simulaciones que serán realizadas para emular el funcionamiento de los mercados diarios de energía y servicios complementarios. La propuesta de casos que serán simulados deberá ser analizada y aprobada por la CREG previo al inicio de la actividad de las simulaciones.

2.2.5 Realización de simulaciones

Utilizando la metodología, las herramientas y el modelo de simulación descritos en puntos anteriores, se efectuarán las simulaciones de despacho para el día de operación, considerando diferentes para las secciones intradiarias. Para el mercado de SSCC, no fue propuesto en [2] cambios en las ofertas para los mercados de SSCC - sin embargo este concepto será verificado durante la ejecución del estudio. Las simulaciones se efectuarán para la situación actual (2019) y lo que se espera para el 2023, en donde se contaría con las plantas eólicas y solares que salieron asignadas en la subasta del cargo por confiabilidad para el periodo 2022-2023 y los proyectos que tengan planeada su entrada anterior al año 2023.

El resultado de esta actividad serán los resultados de las simulaciones realizadas. Estos resultados serán parte del cuarto informe de avance, denominado de *informe de simulaciones*.

2.2.6 Identificación de riesgos en la operación

Además de representar las restricciones operativas de la red, disponibilidad de los recursos renovables (agua, viento y sol), las simulaciones del despacho real también representarán fluctuaciones de la demanda, fallas/reparos de los equipos de

⁵ Los resultados que serán impresos por el modelo de simulación que será desarrollado como parte de esta consultoría serán previamente acordados con la CREG.

generación y transmisión con respecto a los valores pronosticados en el despacho factible/ideal para el mismo horizonte. Para la modelación de la variabilidad de la generación renovable, por ejemplo eólicas y solares, se utilizará el sistema Time Series Lab (TSL) de PSR, que se basa en una Red Bayeasiana y modelación no paramétrica de las distribuciones para producir escenarios multiescala (caudales con etapas semanales y renovables con granularidad horaria) y que representan las dependencias temporales y espaciales entre las fuentes. El TSL ha sido aplicado en varios países de América Latina, y en particular en el estudio sobre servicios auxiliares realizado por PSR y otros miembros del Consorcio.

Con esta modelación se identificarán los principales riesgos en la operación, elemento que será utilizado, en conjunto con el costo operativo, para definir la cantidad de sesiones intradiarias.

Los resultados de esta actividad serán incluidos como parte del cuarto informe de avance, el *informe de simulaciones*.

2.2.7 Solución a problemas en reglas de despacho y servicios de reserva

Con el modelo desarrollado anteriormente se analizarán situaciones extremas, como por ejemplo sequías, fallas de unidades de generación y/o líneas de transmisión, para comprobar que las reglas de despacho y SSCC funcionen correctamente o detectar los problemas y proponer las soluciones.

El resultado de esta actividad serán parte del cuarto informe de avance, el *informe de simulaciones*.

2.2.8 Realización de la liquidación

Con la aplicación del modelo descrito, se efectuará la liquidación para los agentes, considerando los precios de la energía (reconciliación), cantidades de energía resultantes del despacho vinculante (day-ahead y intradiarios), cantidad despachada en el tiempo real, reservas, penalidades por el incumplimiento de las reservas etc.

Las diferencias de los resultados operativos entre los despachos ideales (day ahead e intradiarios) y los respectivos despachos vinculantes (factibles), bien como los balances observados entre los despachos vinculantes y el despacho real (que también incluye los SSCC) serán contabilizadas y asignadas a los respectivos agentes de

acuerdo con las reglas desarrolladas por los estudios antes mencionados, o alguna modificación de los mismos propuesta por los Consultores y aceptada por la CREG a lo largo del estudio.

Como mencionado anteriormente, para computar las reconciliaciones e implementar los mecanismos de balance serán desarrolladas macros utilizando el Excel de Microsoft que leen los resultados producidos por el modelo de despacho (paso (b)) y por la simulación del despacho real (paso (c)).

Los resultados de la actividad de liquidaciones serán parte del quinto informe de avance de la consultoría, el *informe de liquidaciones y comparación de resultados*.

2.2.9 Comparación de resultados

Se compararan los resultados que surgen de la aplicación de las propuestas de los mercados de energía y servicios complementarios (de reserva) con las reglas operativas y comerciales actuales, para los años seleccionados, y además se comparará la aplicación de las nuevas reglas aplicadas a ofertas históricas para identificar las diferencias de lo histórico con la nueva modelación propuesta⁶. El objetivo de la comparación es poder identificar una relación costo/beneficio que justifique el cambio en las reglas y, además, permita recomendar el número de intradiarios que serían implementados.

El resultado de la actividad de comparación de resultados será parte del quinto informe de avance de la consultoría, el *informe de liquidaciones y comparación de resultados*.

⁶ La implementación de esta etapa de comparación utilizando registros pasados depende de la disponibilidad de información por parte de la CREG.

3 EQUIPO PROPUESTO

Se presenta a continuación breves descripciones de los CVs de los profesionales del Grupo Consultor (PHC y PSR) propuestos para el equipo del proyecto, tanto las personas clave como también el equipo de apoyo.

3.1 Personal clave

Pablo Hernan Corredor Avella, PHC (PHC) [Profesional en Operación de Sistemas eléctricos]

Pablo Corredor es Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional, con maestría en ciencias de la Universidad de Manchester Inglaterra, cuenta con experiencia de más de 40 años en el Sector Eléctrico en la región, lo que le ha permitido ganar una notable experiencia y reconocimiento en este mercado.

Durante 28 años fue empleado de ISA Interconexión Eléctrica S.A., en las áreas de Planeamiento y Operación, destacándose en los cargos de Director de Estudios de Expansión, Gerente del Centro Nacional de Despacho y Gerente de la Operación y Administración del Mercado Mayorista; fue Secretario Técnico en el Consejo Nacional de Operación durante 3 años (1995-1998). Además, se desempeñó por 10 años como Profesor de Análisis de Sistemas de Potencia, Confiabilidad y de Optimización de Sistemas Eléctricos en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín.

Fue director técnico del consorcio constituido por KEMA Consulting (de Estados Unidos) e ISA (de Colombia) para el diseño detallado del MER en el cual se desarrollaron las tareas de reglamento de operación técnico y comercial; estudios para la creación y desarrollo del EOR y la CRIE; y diseño y supervisión del centro regional de coordinación y transacciones; durante el periodo 2002 - 2005.

Fue miembro del grupo de vigilantes del mercado eléctrico de Panamá durante el periodo 1999 - 2002.

Fue encargado de la concepción y creación de la organización XM Compañía Expertos en Mercados S.A. E.S.P encargada de la operación del mercado eléctrico colombiano, de la cual fue Gerente General por 6 años hasta febrero del año 2012, momento en el cual crear una firma de consultoría llamada PHC, basada en sus grandes conocimientos y amplia trayectoria.

Socio fundador de PHC Servicios Integrados Group S.A.S, empresa dedicada al desarrollo integral de proyectos con la ejecución de estudios de planeación de sistemas de potencia, coordinación de protecciones, análisis de riesgos, estudios regulatorios, análisis y estudios de mercados de energía. Ha realizado estudios para empresas de 18 países, en donde se han prestado servicios de consultoría de alta calidad.

Luiz Augusto Barroso, LAB (PSR) [Profesional en Diseño de Mercados]

Luiz Augusto Barroso es el director-presidente de PSR. De 2016 hasta 2018 fue el presidente de la Empresa de Pesquisa Energética (EPE), una empresa vinculada al Ministerio de Minas e Energía (MME), responsable por todos los estudios de planificación energética que apoyan las decisiones de política energética por el Ministerio de Minas y Energía de Brasil. Aún en 2018 estuvo en la Agencia Internacional de Energía como visitante, actuando en la transición energética en países en vías de desarrollo. Antes de juntarse a la EPE, Luiz Barroso fue socio y director técnico de PSR, donde trabajó por 17 años coordinando estudios sobre planeamiento, operación, regulación, comercialización y gestión de riesgos en cerca de 30 países. Es también investigador asociado da Universidad de Comillas, en Madrid y profesor da Escuela de Regulación de Florencia, en Italia. Es editor asociado de las revistas IEEE Transactions on Power Systems y IEEE Power and Energy, fue editor de la IEEE Transactions on Smart Grids (2010-2015) y es el vice-chair del Power Systems Operations, Planning and Economics Committee da IEEE Power and Energy Society, donde es miembro senior. Recibió en 2010 o IEEE PES Outstanding Young Engineer Award. Fue el representante brasileño en el comité C5 del Cigre - mercados de electricidad y regulación - donde hasta hoy es miembro de su steering committee. Luiz Augusto Barroso es autor/coautor de 1 libro, 3 capítulos de libros y más de 200 artículos técnicos en temas de mercados de electricidad en revistas y conferencias en Brasil y en el extranjero, donde también participa activamente de supervisiones y tribunales de defensa de tesis de doctorado y maestría. Luiz Augusto Barroso es graduado en Matemática y posee doctorado en Ingeniería de Sistemas (optimización) por la COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

3.2 Personal de Apoyo

3.2.1 De PHC

Laura Cristina Marin Ortiz, LMO

Ingeniera Electricista de la Universidad Nacional de Colombia, con Maestría en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Sistemas de Potencia de la Universidad Técnica de Kaiserslautern - Alemania (Tema de la Tesis: “Modelado de un sistema en HVDC (High Voltage Direct Current) con Voltage-Source Converters (VSC) en DIgSILENT PowerFactoryTM y análisis relevante relacionado con investigaciones en estabilidad”). Además, cuenta con una especialización en mercados de energía de la Universidad de Nacional de Colombia - Sede Medellín.

Se desempeñó por 5 años como Analista de Coordinación de la Operación en la compañía XM en donde adquirió gran parte de su experiencia como profesional. En los años 2013 a 2015 fue asistente de investigación en la Universidad Técnica Kaiserslautern - Alemania (Facultad: Ingeniería Eléctrica e Informática).

Actualmente es líder de proyectos en la compañía PHC Servicios Integrados Group S.A.S. en donde desempeña el cargo de líder de proyectos desde agosto del 2016, se encuentra encargada de la coordinación de proyectos relacionados con estudios de flujo de carga, cortocircuito, estudios de estabilidad, evaluación económica e inversión de recursos energéticos, análisis de mercados de energía y análisis regulatorios.

Viviana María Rueda Mejía, VRM

Ingeniera electricista de la Universidad Nacional, con Maestría en Ingeniería Administrativa de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Se desempeñó durante 4 años, como ingeniera de diseño en el área de estudios en la compañía Ingeniería especializada S.A., dentro de sus responsabilidades se encontraban: Realizar las pruebas técnicas que sean necesarias en los proyectos, tomar decisiones técnicas de alto impacto sobre el proyecto, participar en la realización de proyectos de ingeniería; planear, organizar, programar, dirigir y hacer el seguimiento de los trabajos que tuviera a su cargo.

Fue empleada de la compañía XM compañía de expertos en Mercados S.A. E.S.P. durante 3 años, en la cual desempeñó cargos como: analista Programación Operación, Analista de Información y Analista de Información de la Operación.

Actualmente es líder de proyectos en la compañía PHC Servicios Integrados Group S.A.S. en donde desempeña el cargo de líder de proyectos, encargada de supervisar los diferentes proyectos que se presenten y especializada en realizar estudios de conexión de nuevos proyectos al Sistema Interconectado Nacional, el cual incluye estudios de flujo de carga, cortocircuito, estabilidad y evaluación económica y análisis regulatorios para la conexión a la red.

Fabio Andres Avella Rodriguez, FAR

Ingeniero electricista de la Universidad Nacional de Bogotá, Maestría en Sistemas Energéticos de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Cuenta con 1 publicación en revistas especializadas del sector eléctrico: “Influence of Thunderstorm-like Wind Velocities on Point Discharge Corona Currents” 31st International Conference on Lightning Protection (ICLP), Vienna, Austria, septiembre 2012.

A partir del año 2012, inició sus labores en la empresa PHC Servicios Integrados Group S.A.S. , como ingeniero de proyectos, actualmente es líder de proyectos en la misma compañía , encargado de supervisar los diferentes proyectos que se presenten y especializado en brindar asesoría y soluciones a problemas propios de la ingeniería eléctrica en temas como Estudios de mercado, Proyección de precios de energía, Proyección de generación, Estudios energéticos, estudios de inversión de nuevas plantas de generación y redes de transmisión, estudios de optimización de generación y análisis económico en plantas hidroeléctricas, térmicas y renovables, entre otras actividades. Se especializa en el manejo del software de simulación de sistemas hidro-térmicos SDDP.

3.3 De PSR

Gabriel Cunha, GC

Gabriel Cunha tiene maestría en planificación energética y es graduado en ingeniería química y en ingeniería con énfasis en los sistemas de energía. Actualmente es

analista y gerente de proyectos en PSR, donde ha trabajado principalmente con el análisis de mercados energéticos internacionales, el modelado de mercados de energía, y el diseño de políticas públicas. Su trabajo se ha extendido por varios países - en los últimos años, Gabriel ha trabajado en Brasil, Turquía, Vietnam, Canadá, Chile, Colombia, Perú, Panamá, El Salvador y México en diversos proyectos.

En el ámbito de la regulación y las políticas públicas, Gabriel ha acumulado experiencia en las áreas de (i) mecanismos de apoyo a las energías renovables, en particular los relacionados con la generación distribuida y/o licitaciones por subasta; (ii) el diseño de mecanismos de adecuación de la capacidad, con análisis de los principios teóricos y experiencias prácticas internacionales; (iii) el análisis de los mecanismos de subasta aplicados a mercados de la energía; y (iv) las interacciones entre la economía, el sector energético, y la regulación. En el contexto de la modelización de mercados, sus actividades han involucrado (i) estudios integrados de simulación de mercados energéticos con representación detallada de diferentes sistemas internacionales; (ii) el análisis probabilístico de flujos financieros y estrategias de gestión de riesgos; (iii) consideraciones sobre la aversión al riesgo aplicada a generadores, carteras de contrato, y la sociedad en su conjunto; y (iv) la discusión estratégica de los controladores clave de los precios futuros, vulnerabilidades e incertidumbres.

Luiz Carlos da Costa Jr, LC

Luiz Carlos es ingeniero electricista, desarrollador líder de modelos de optimización/simulación en PSR, con una licenciatura en ingeniería eléctrica, y grados de maestría y doctorado en optimización. Dr. Luiz Carlos coordina el desarrollo, la capacitación y el soporte de la herramienta más utilizada de PSR, el modelo de simulación de producción hidrotérmica estocástica multietapa SDDP. Dr. Luiz Carlos también participa en el desarrollo de modelos computacionales para la planificación de la expansión, evaluación de confiabilidad compuesta de generación-transmisión, asignación de costos de transmisión y otros modelos desarrollados por PSR. Dr. Luiz Carlos tiene una amplia experiencia internacional, con proyectos en Turquía, Colombia, El Salvador, Guatemala, Panamá, Estados Unidos, Brasil, Italia, India y Vietnam.

Joaquim Garcia, JG

Joaquín es ingeniero eléctrico egresado de PUC -Rio y actualmente cursa BSc en matemática y MSc en ingeniería eléctrica con énfasis en apoyo a decisión, también en PUC-Rio. Durante la graduación, pasó un año en la Universidad de California en Santa Bárbara. Se unió a PSR en 2015, donde ha estado involucrado en el desarrollo de modelos de optimización para el despacho hidrotérmico bajo incertidumbre con restricciones de transmisión (SDDP), análisis de confiabilidad compuesta de generación-transmisión (modelo CORAL), planificación de la expansión de sistemas eléctricos (modelo OptGen) y flujo de potencia óptimo no lineal (modelo OPTFLW).

4 ENTREGABLES Y WORK-SHOP

4.1.1 Informe metodología y plan de trabajo.

Este informe corresponde al primer entregable del proyecto -informe de metodología y plan de trabajo - cuyo objetivo es sustentar la metodología propuesta y presentar plan de trabajo y el cronograma detallado que se aplicará para desarrollar las actividades del proyecto.

Además, se presenta una propuesta de fechas de entrega de todos los informes programados y en el cronograma se incluye los tiempos y los recursos propuestos para cada actividad, inclusive con una propuesta para las reuniones virtuales entre el equipo del Grupo Consultor PHC-PSR, la CREG y el Operador del Mercado (XM S.A. E.S.P.), work-shops virtuales para presentación de los informes y la fecha para el work-shop final, que se realizará en Bogotá.

4.1.2 Informe de integración mercados energía y servicios complementarios

Se presentará un informe con los resultados de las actividades revisión de los estudios previos, recopilación de la información del SIN y el modelo conceptual integrado que permita hacer la simulación de las reglas operativas, liquidación de los mercados y del mecanismo de balance, tal como está definido en el literal a, b y c, “Integración mercados energía y servicios complementarios”, del Alcance.

El informe de integración mercados energía y servicios complementarios está programado para ser entregue en la semana del 14 al 18 de octubre de 2019.

4.1.3 Informe de la metodología de modelación

Se presentará un informe con la metodología y descripción de modelación y se identifique el software o desarrollo propio a utilizar y las características del modelo matemático (restricciones, la función objetivo a optimizar, las variables y parámetros). Además, se debe identificar la información necesaria para el desarrollo del modelo de qué trata el literal d, “Desarrollo de Modelo de Simulación”, de las obligaciones del contrato.

Así mismo, se presentará qué resultados se podrán observar del modelo. En todo caso, dichas opciones de presentación de resultados podrán ampliarse de acuerdo

con las necesidades que surjan en el transcurso del desarrollo del contrato y del desarrollo del modelo.

El informe de la metodología de modelación incluirá también propuesta a ser acordada con la CREG sobre los casos que serán simulados cuyos resultados serán incluidos en el siguiente informe.

El informe de las de la metodología de modelación está programado para ser entregue en la semana del 18 al 22 de noviembre de 2019.

4.1.4 Informe de Simulaciones

Se presentará un informe con el resultado de las simulaciones realizadas, identificación de riesgos en la operación y las propuestas de solución a los problemas de despacho y servicios de reserva para cumplir con lo establecido en los literales e, f y g, del numeral 3, de las obligaciones del contrato.

El informe de las simulaciones está programado para ser entregue en la primera semana de diciembre, del 2 al 6 de diciembre de 2019.

4.1.5 Informe de liquidación y comparación de resultados

Este informe incluirá la realización de la liquidación y comparación de resultados de que trata lo establecido en los literales h e i, “Realización de la liquidación” y “Comparación de resultados”, del numeral 3 del Alcance.

El informe de liquidación y comparación de resultados está programado para ser entregue en la semana del 2 al 6 de diciembre de 2019, tal como se presenta en el cronograma detallado a continuación.

4.1.6 Taller de presentación

Se presentarán los resultados de la investigación, análisis y modelación de que tratan los informes de avance 2, 3, 4 y 5 en un taller que será convocado por la CREG. La CREG se encargará de definir el sitio para el mismo.

El taller para presentación de los resultados del proyecto está programado, de acuerdo al cronograma presentado a continuación, para la semana del 9 al 13 de diciembre de 2019.

4.1.7 Informe final

Se entregará el informe final donde se consoliden los informes de avance 1, 2, 3, 4 y 5. Se incluirán los análisis de los comentarios que se hagan con ocasión del taller, que deberán ser recibidos por el Grupo Consultor con, al menos, 4 días de anticipo de la fecha para entrega del informe final.

Con el informe final, entregará el manual de modelo de simulación de que trata el literal d., “Desarrollo de Modelo de Simulación” del Alcance. El manual será lo suficientemente específico para que la CREG pueda realizar simulaciones.

La entrega y presentación del informe final está previsto para la última semana del cronograma del proyecto, del 16 al 20 de diciembre de 2019.

4.2 Plan de Trabajo: cronograma detallado e hitos relevantes

A continuación, se presenta el cronograma detallado propuesto para desarrollar las actividades de la consultoría, incluyendo el calendario de principales hitos del proyecto, los tiempos previstos para cada actividad y el diagrama Gantt.

SIMULACIÓN DE REGLAS OPERATIVAS DEFINIDAS EN LOS ESTUDIOS DE DESPACHO VINCULANTE, MERCADO INTRADIÁRIO Y SERVICIOS
COMPLEMENTARIOS

Actividades	Septiembre				Octubre				Noviembre					Diciembre			(en Días)			
	6-Sep	13-Sep	20-Sep	27-Sep	4-Oct	11-Oct	18-Oct	25-Oct	1-Nov	8-Nov	15-Nov	22-Nov	29-Nov	6-Dec	13-Dec	20-Dec	PHC (PHC)	AP (PHC)	LAB (PSR)	AP (PSR)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
Reunión de inicio del proyecto y definición del plan de trabajo detallado																	2	1	2	1
Revisión de los estudios																	2	10	1	3.5
Recopilación de información del SIN																	0	20	0.75	3
Integración mercados energía y servicios complementario																	2	5.5	1.5	8
Desarrollo de Modelo de Simulación																	1	10	3	48
Realización de simulaciones																	2	20	1	6
Identificación de riesgos en la operación																	0.5	5	0.5	5
Solución a problemas en reglas de despacho y servicios de reserva																	2	7	0.75	6
Realización de la liquidación																	1	14	1	14
Comparación de resultados																	1	7	0.5	5
Preparación de las presentaciones para el Taller																	2	1	2	1.5
Preparación del informe final																	1	5	1	3
Reuniones de coordinación	6-Sep	13-Sep	20-Sep	27-Sep	4-Oct	11-Oct	18-Oct	25-Oct	1-Nov	8-Nov	15-Nov	22-Nov	29-Nov	6-Dec	13-Dec	20-Dec				
Reunión kickoff																				
Work-shop para presentación informes (virtual)																				
Reuniones de coordinación con CREG y XM (virtual)																				
Work-shop final (presencial)																				
Entregables	6-Sep	13-Sep	20-Sep	27-Sep	4-Oct	11-Oct	18-Oct	25-Oct	1-Nov	8-Nov	15-Nov	22-Nov	29-Nov	6-Dec	13-Dec	20-Dec				
Informe de avance 1: Metodología y plan de trabajo																				
Informe de avance 2: integración mercados energía y servicios complementarios																				
Informe de avance 3: metodología de modelación																				
Informe de avance 4: Simulaciones																				
Informe de avance 5: Liquidación y comparación de resultados																				
Taller para presentación de los resultados																				
Informe final																				

PHC (PHC) - Pablo Hernan Corredor
LAB (PSR) - Luiz Augusto Barroso
AP (PHC) - Personal de apoyo de PHC
AP (PSR) - Personal de apoyo de PSR

5 REFERENCIAS

- [1] Universidad de Comillas. “Estudio para la modernización del despacho y el mercado spot de energía eléctrica - despacho vinculante y mercados intradiarios”, Informes del Proyecto, 2018.
- [2] PSR-Di Avante-3. “Análisis de los Servicios Complementarios para el Sistema Interconectado Nacional (SIN)”, Informe Final Completo - Revisión 2, diciembre 2018.