

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

Informe de Avance 2: Integración mercados energía y servicios complementarios – Revisión 1

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



Octubre 2019

CONTENIDO

1	OBJETIVO-----	3
2	ALCANCE -----	3
3	REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS-----	3
3.1	Propuesta UNIVERSIDAD DE COMILLAS-----	3
3.2	Propuesta CONSORCIO PSR-DI-AVANTE-----	4
4	PROPUESTA MODELO CONCEPTUAL INTEGRADO -----	4
4.1	Esquema General-----	4
4.2	Mercado diario del día anterior (Day Ahead)-----	6
4.3	Mercado Intradiario-----	14
4.4	Mecanismo de Balance -----	16
4.5	Liquidación de la disponibilidad para prestar el servicio de reserva---	19
4.6	Cálculo de costos de arranque y parada-----	19
4.7	Transacciones Internacionales -----	20
5	RECOPILACIÓN INFORMACIÓN DEL SIN-----	20
	ANEXO 1. PROPUESTA UNIVERSIDAD DE COMILLAS-----	21
	ANEXO 2. PROPUESTA CONSORCIO PSR-DI-AVANTE -----	25

1 OBJETIVO

El objetivo de este informe es presentar el modelo conceptual integrado que permita hacer la simulación de las reglas operativas y de liquidación de los mercados, de acuerdo al entendimiento del consultor sobre la propuesta realizada por la Universidad de Comillas para la implementación de un mercado spot de energía caracterizado por un despacho vinculante, mercados intradiarios y un mecanismo de balance, y la propuesta realizada por el consorcio PSR-DI-AVANTE para el tratamiento de los Servicios Complementarios -SSCC- en el SIN.

2 ALCANCE

En el presente documento se desarrollan los siguientes temas:

- 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 y se presenta un resumen de los principales aspectos contenidos en cada uno de ellos.
- b) **Integración mercados energía y servicios complementario.** Se presenta una propuesta del modelo conceptual integrado que permita hacer la simulación de las reglas operativas y de liquidación de los mercados: energía y servicios complementarios.
- c) **Recopilación de información del SIN.** Se presenta la información recibida por parte del Operador del Mercado y se identifican las principales variables a ser utilizadas de dicha información.

3 REVISIÓN DE LOS ESTUDIOS

3.1 Propuesta UNIVERSIDAD DE COMILLAS

La CREG publicó mediante la Circular 005 de 2019, la propuesta regulatoria realizada por la Universidad de Comillas, para la implementación en Colombia de un mercado spot de energía caracterizado por un despacho vinculante el día anterior a la operación, mercados intradiarios el día de operación y un mecanismo de balance el día siguiente.

En el Anexo 1 se presentan los principales aspectos definidos en esta propuesta.

3.2 Propuesta CONSORCIO PSR-DI-AVANTE

La CREG publicó mediante la Circular 008 de 2019, la propuesta regulatoria realizada por el consorcio PSR-DI-AVANTE, para el tratamiento de los Servicios Complementarios -SSCC- en el SIN.

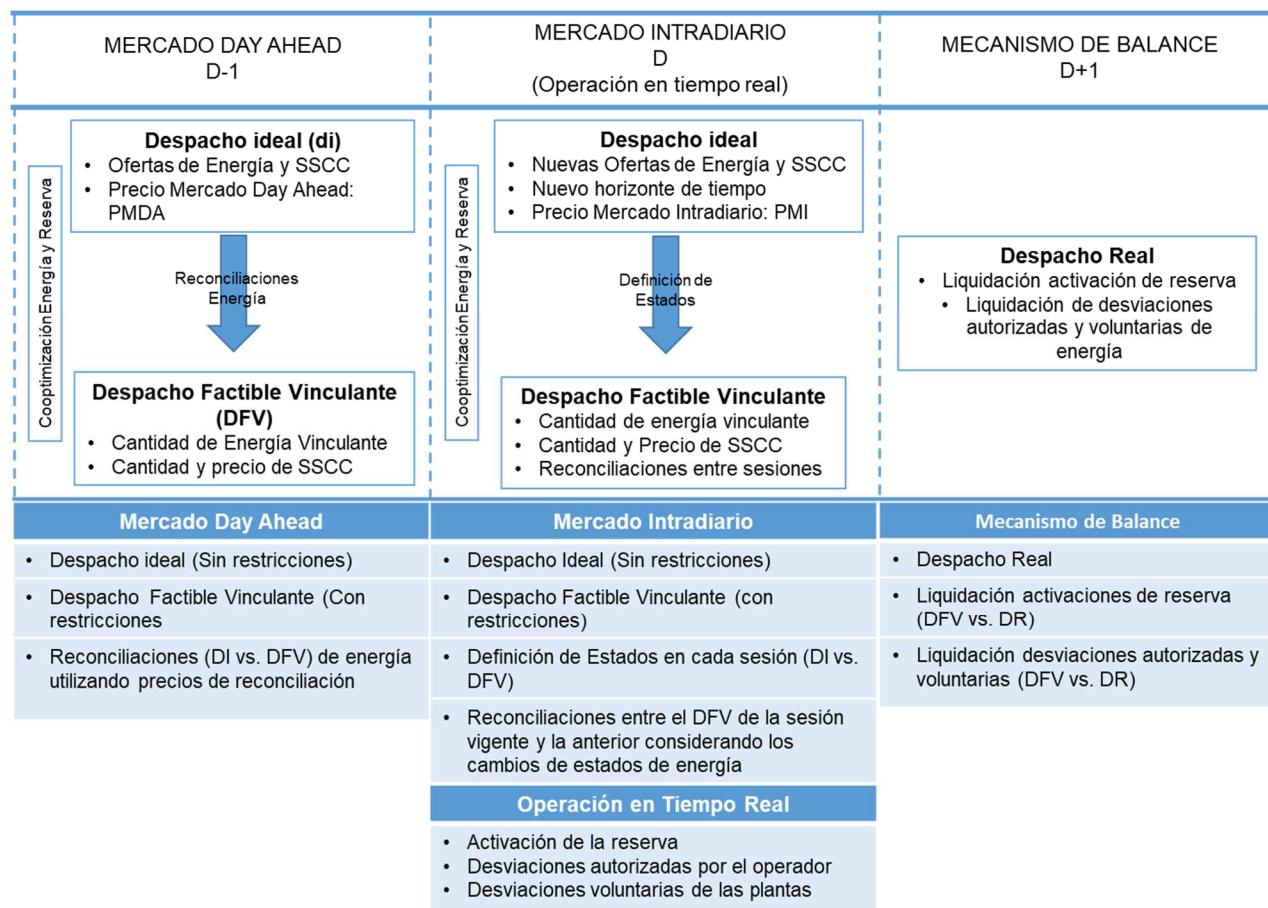
En el Anexo 2 se presentan los principales aspectos definidos en la propuesta.

4 PROPUESTA MODELO CONCEPTUAL INTEGRADO

Con base en las propuestas presentadas por la Universidad de Comillas y el Consorcio PSR-DI-AVANTE, a continuación, se presenta una propuesta del modelo conceptual integrado que permita hacer la simulación de las reglas operativas y de liquidación de los mercados: energía y servicios complementarios.

4.1 Esquema General

El esquema general del diseño se presenta en el siguiente gráfico:



El procedimiento establecido en este esquema es el siguiente¹ (Cada uno de los pasos de este procedimiento serán detallados más adelante en este documento):

1. En el mercado diario del día anterior se ejecuta un Despacho Ideal (sin considerar la red) del cual se obtiene el precio de la energía del mercado de día anterior. Adicionalmente, se ejecuta un despacho factible (considerando la red) el cual fija las cantidades vinculantes de energía y las cantidades y precios de los SSCC. Estos despachos son ejecutados con un modelo co-optimizado de energía y reserva, considerando las ofertas de precios y cantidades para cada uno de estos conceptos.
2. A partir de los resultados de estos dos despachos se realiza un proceso de cálculo de reconciliaciones de energía, con el fin de determinar cuales recursos son despachados en mérito y cuales fuera de mérito y consecuentemente definir la remuneración de cada uno de ellos.
3. Posteriormente, se desarrolla el Mercado Intradiario. Dicho mercado está basado en un proceso de subastas. Cada subasta replica el proceso del mercado diario (Descrito en el numeral 1), volviendo a despachar todo el sistema, pero cambiando el horizonte de operación y utilizando la información actualizada que se haya producido a partir del cierre de la sesión de mercado anterior, incluyendo las cantidades y precios de la energía y de los SSCC. La primera sesión se realiza antes de comenzar el día de operación.
4. En cada sesión del Mercado Intradiario, se determinan los estados de cada una de las plantas (Despacho Ideal vs. Despacho Factible vinculante). Con esta información se determinar si se presentan cambios en dichos estados con relación a los de la sesión anterior y se realiza la reconciliación de energía entre los resultados de los despachos factibles vinculantes de la sesión vigente con relación a la sesión anterior. Adicionalmente se realiza la reconciliación entre sesiones de los SSCC. Estos procedimientos se realizan utilizando las reglas que se presentan más adelante en este documento.
5. Finalmente, después del cierre de la última sesión del Mercado Intradiario, se fijan las posiciones comerciales. Cualquier cambio en el despacho a partir de

¹ Algunos aspectos de detalle del procedimiento han sido validados con la CREG

este momento será cubierto por el operador del sistema a través de los servicios complementarios o autorizaciones mediante las cuales se minimice los costos de los mecanismos de balance.

6. El día después de la operación se ejecuta un mecanismo de balance (Considerando las reglas que se presentan más adelante en este documento) en el cual se determinan, a partir de la comparación entre el Despacho Factible Vinculante y el despacho real, las activaciones de las reservas y las autorizaciones o instrucciones del operador y las posibles desviaciones voluntarias de las plantas.

4.2 Mercado diario del día anterior (Day Ahead)

El día anterior a la operación se ejecuta un Despacho Ideal (sin considerar la red) del cual se obtiene el precio de la energía del mercado de día anterior. Adicionalmente, se ejecuta un despacho factible (considerando la red y los criterios de confiabilidad y seguridad) el cual fija las cantidades vinculantes de energía y las cantidades y precios de los SSCC.

4.2.1 Variables a considerar en la ejecución de los despachos diarios del día anterior

Para la ejecución tanto del despacho ideal como del despacho factible del día anterior se tendrán en cuenta las siguientes variables:

- a) Los agentes realizan diariamente las siguientes ofertas:

CONCEPTO	DISPONIBILIDAD (Cantidad MW)	PRECIO DE OFERTA (\$/MWh)
ENERGÍA	Un valor diferente para cada una de las 24 horas del día	Un valor único para las 24 horas del día
REGULACIÓN SECUNDARIA A SUBIR	Un valor (igual o diferente) para cada una de las 24 horas del día	Un valor único para cada una de las 24 horas del día
REGULACIÓN SECUNDARIA A BAJAR	Un valor (igual o diferente) para cada una de las 24 horas del día	Un valor único para cada una de las 24 horas del día
REGULACIÓN TERCIARIA	Un valor (igual o diferente) para cada una de las 24 horas del día	Un valor único para cada una de las 24 horas del día

- b) El Operador del Mercado o quien corresponda calcula y define los valores requeridos de reserva operativa para cada uno de los períodos del día.
- c) Se tiene una demanda estimada para cada uno de los períodos del día.
- d) Todos los parámetros y características técnicas de las plantas de generación declarados previamente por los agentes, tanto de energía como para SSCC.

4.2.2 Despacho Ideal

4.2.2.1 Ejecución del Despacho Ideal

Se ejecuta el Despacho Ideal (Sin considerar la red) utilizando un modelo co-optimizado de energía y reservas, a partir del cual se calcula el precio de la energía del mercado de día anterior.

Para ejecutar el Despacho Ideal se requiere minimizar el precio y la cantidad ofrecida de todas las unidades de generación para satisfacer la demanda de energía y los servicios complementarios para las 24 horas del día. El problema de optimización a resolver es el siguiente:

Sean $(C_{op}(i, h); \hat{g}(i, h))$, $(\pi_{rs}^{up}(i, h); \hat{\pi}_s^{up}(i, h))$, $(\pi_{rs}^{dn}(i, h); \hat{\pi}_s^{dn}(i, h))$ y $(\pi_{rt}(i, h); \hat{\pi}_t(i, h))$ las cantidades y precios ofertados por los agentes habilitados en los mercados de energía y servicios complementarios, donde:

$C_{op}(i, h)$ - precio de la oferta de la central i en la hora h para el mercado de energía;

$\hat{g}(i, h)$ - declaración de disponibilidad la central i en la hora h para el mercado de energía;

$\pi_{rs}^{up}(i, h)$ - precio para aumentar la potencia de la central i en la hora h para la reserva secundaria;

$\hat{\pi}_s^{up}(i, h)$ - oferta de disponibilidad para aumentar la potencia de la central i en la hora h para la reserva secundaria;

$\pi_{rs}^{dn}(i, h)$ - precio para bajar la potencia de la central i en la hora h para la reserva secundaria;

$\hat{\pi}_s^{dn}(i, h)$ - oferta de disponibilidad para bajar la potencia de la central i en la hora h para la reserva secundaria;

$\pi_{rt}(i, h)$ - precio de la central i en la hora h para la reserva terciaria;

$\hat{r}_t(i, h)$ - oferta de disponibilidad la central i en la hora h para la reserva terciaria;

El modelo de co-optimización se formula de la siguiente forma:

FUNCIÓN OBJETIVO:

$$\text{Minimize} \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^N \left(C_{op}(i, h) * g(i, h) + \pi_{rs}^{up}(i, h) * r_s^{up}(i, h) + \pi_{rs}^{dn}(i, h) \right. \\ \left. \times r_s^{dn}(i, h) + \pi_{rt}(i, h) \times r_t(i, h) + Ca(i) * y(i, h) + Cp(i) * w(i, h) \right) \quad (1)$$

Donde:

H - horizonte del problema de co-optimización ($H = 24$)

N - número de unidades de generación (hidráulicas, térmicas, solares, eólicas etc.)

$g(i, h)$ - cantidad asignada de la central i en la hora h para el mercado de energía;

$r_s^{up}(i, h)$ - cantidad asignada para aumentar la potencia de la central i en la hora h para la reserva secundaria;

$r_s^{dn}(i, h)$ - cantidad asignada para bajar la potencia de la central i en la hora h para la reserva secundaria;

$r_t(i, h)$ - cantidad asignada de la central i en la hora h para la reserva terciaria;

$Ca(i)$ - costo de arranque de la unidad i ;

$Cp(i)$ - costo de parada de la unidad i ;

$y(i, h)$ - variable que indica que la unidad i fue prendida en la hora h ;

$w(i, h)$ - variable que indica que la unidad i fue apagada en la hora h ;

RESTRICCIONES

Límite de asignación en cada mercado para la hora h :

$$g(i, h) \leq \hat{g}(i, h), \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$r_s^{up}(i, h) \leq \hat{r}_s^{up}(i, h), \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$r_s^{dn}(i, h) \leq \hat{r}_s^{dn}(i, h), \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$r_t(i, h) \leq \hat{r}_t(i, h), \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (4)$$

Suministro de la demanda en la hora h :

$$\sum_{i=1}^N g(i, h) = De(h), \text{ para } h = 1, \dots, H \quad (6)$$

Donde:

$De(h)$ - demanda de energía a ser asignada para la hora h ;

Requerimiento de reserva secundaria en la hora h :

$$\sum_{i=1}^N r_s^{up}(i, h) \geq Rr_s^{up}(h), \text{ para } h = 1, \dots, H \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N r_s^{dn}(i, h) \geq Rr_s^{dn}(h), \text{ para } h = 1, \dots, H \quad (8)$$

Donde:

$Rr_s^{up}(h)$ - Requerimiento de reserva secundaria *up* en la hora h ;

$Rr_s^{dn}(h)$ - Requerimiento de reserva secundaria *down* en la hora h ;

Requerimiento de reserva terciaria en la hora h :

$$\sum_{i=1}^N r_t(i, h) \geq Rr_t(h), \text{ para } h = 1, \dots, H \quad (9)$$

Donde:

$Rr_t(h)$ - Requerimiento de reserva terciaria en la hora h ;

Capacidad de las unidades de generación:

$$g(i, h) + r_s^{up}(i, h) \leq \bar{g}(i, h) \times x(i, h), \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (10)$$

Donde:

$x(i, h)$ - variable que indica que la unidad i está despachada en la hora h . $x(i, 0)$ indica el estado (encendido o apagado) de la unidad en la hora 0;

$\bar{g}(i, h)$ - es la generación máxima de la planta i ;

Reserva terciaria:

$$r_t(i, h) \leq \bar{g}(i, h) \times (1 - x(i, h)), \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (11)$$

Mínimo técnico de las unidades de generación:

$$g(i, h) - r_s^{dn}(i, h) \geq \underline{g}(i, h) \times x(i, h), \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (12)$$

Accionamiento de las unidades de generación y parada de las unidades de generación: Estas restricciones corresponden a la validación de estado (encendido, apagado) y la acción de arranque y/ parada de cada generador en cada periodo horario, con el fin de evitar que en un mismo periodo horario una maquina tenga más de un estado o acción

$$y(i, h) - x(i, h) + x(i, h - 1) \geq 0, \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (13)$$

$$w(i, h) + x(i, h) - x(i, h - 1) \geq 0, \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (14)$$

$$y(i, h) + w(i, h) + x(i, h) + x(i, h - 1) \leq 2, \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (15)$$

$$y(i, h) + w(i, h) \leq x(i, h) + x(i, h - 1), \text{ para } h = 1, \dots, H, i = 1, \dots, N \quad (16)$$

Tiempo mínimo apagado:

$$x(i, h - 1) - x(i, h) + x(i, k) \leq 1, \quad \text{para } h = 2, \dots, H - 1, k = h + 1, \min\{H, h + \tau_d(i) - 1\}, i = 1, \dots, N \quad (17)$$

Donde:

$\tau_d(i)$ - mínimo tiempo que la unidad i debe permanecer fuera de línea (horas);

Tiempo mínimo en operación:

$$x(i, h - 1) - x(i, h) + x(i, k) \leq 1, \quad \text{para } h = 2, \dots, H - 1, k = h + 1, \min\{H, t + \tau_u(i) - 1\}, i = 1, \dots, N \quad (18)$$

Donde:

$\tau_u(i)$ - mínimo tiempo que la unidad i debe permanecer en línea (horas);

Rampas de generación:

$$g(i, h) - g(i, h - 1) \leq r^{up}(i), \text{ para } h = 2, \dots, H \quad (19)$$

$$g(i, h) - g(i, h - 1) \geq -r^{dn}(i), \text{ para } h = 2, \dots, H \quad (20)$$

Donde:

$r^{up}(i)$ - rampa para aumento máximo de la potencia en la unidad térmica i ;

$r^{dn}(i)$ - rampa para reducción máxima de la potencia en la unidad térmica i ;

4.2.2.2 *Cálculo del precio de la energía*

El precio de la energía corresponde al Máximo Precio Ofertado -MPO- que se calcula como el precio del último recurso flexible² despachado. Como se explicará más adelante cada sesión del mercado intradiario incluirá un nuevo despacho ideal y los MPO horarios se recalcularán y al finalizar el mercado se calculan los costos no recuperados de los agentes generadores correspondientes a los costos de arranque y parada de las plantas que efectivamente operaron durante el día.

4.2.3 Despacho Factible Vinculante

4.2.3.1 *Análisis de Poder de Mercado de las ofertas de SSCC*

Para el análisis y la mitigación del poder de mercado de las ofertas de los agentes, se debe definir si este es pivotal para suministrar sus productos de SSCC en el mercado.

En forma general, se define que el propietario de una unidad de generación es pivotal en el mercado de productos si, dadas las ofertas de sus competidores, la demanda total del mercado no se puede satisfacer sin una cierta cantidad de oferta de sus unidades de producto.

En este sentido, todas las ofertas de cantidad y precio de SSCC se someten a un análisis de poder de mercado. Si un proveedor es pivotal para prestar estos servicios dadas las ofertas de sus competidores, se modifica el precio de la cantidad de oferta que resulte pivotal (Toda o la parte pivotal) por un valor igual al costo regulado establecido por el regulador.³

² Resolución CREG 25 de 1995: "Una unidad es inflexible cuando las características técnicas de la unidad hacen que genere en una hora a pesar de que su precio de oferta es superior al costo marginal del sistema, o cuando se modifica la disponibilidad declarada después de la hora de cierre de las ofertas y antes del período de reporte de cambios para el redespacho.

³ El consultor considera como alternativas para definir este costo regulado considerarlo igual al CERE o modificar la oferta del agente pivotal por un valor igual a la oferta de menor precio que le sigue y que no sea pivotal.

4.2.3.2 Ejecución del Despacho Factible Vinculante

Se ejecuta el Despacho Factible Vinculante el cual considera las restricciones asociadas a la red y las variables descritas en el numeral 4.2.1.

Este despacho se ejecuta utilizando el modelo co-optimizado de energía y reservas presentado en el numeral 4.2.2.1 (La misma función objetivo y restricciones) adicionándole las restricciones que se presentan a continuación las cuales modelan el funcionamiento de la red de transmisión y considera el criterio de confiabilidad N-1. Es importante resaltar que, previo a la ejecución de este despacho, el Operador del Sistema determina las restricciones de flujo y capacidad de los enlaces de tal manera que se garantice el cumplimiento del criterio N-1.

Restricción balance en los nodos del sistema de transmisión para la hora h :

$$\sum_{i \in \Psi(k)} g(i, h) - \sum_{l \in NF(k)} f(l, h) + \sum_{l \in NT(k)} f(l, h) = De(k, h), \quad (51)$$

para $k = 1, \dots, K, h = 1, \dots, H$

Donde:

K - número de nodos del sistema de transmisión;

L - número de circuitos (líneas de transmisión, transformadores, etc.);

$\Psi(k)$ - conjunto de generadores conectados a la barra k ;

$NF(k)$ - conjunto de líneas cuyo nodo origen es la barra k ;

$NT(k)$ - conjunto de líneas cuyo nodo destino es la barra k ;

$f(l, h)$ - flujo de potencia en la hora h por el circuito l , cuyos nodos origen y destino son $j - k$, respectivamente;

$De(k, h)$ - demanda de la barra k para la hora h ;

Restricción de flujo en los circuitos para la hora h :

$$f(l, h) = \gamma(l) \times (\theta(j, h) - \theta(k, h)), \text{ para } l = 1, \dots, L, h = 1, \dots, H \quad (6)$$

Donde:

$\gamma(l)$ - susceptancia del circuito l cuyos nodos origen y destino son $j - k$, respectivamente;

$\theta(k, h)$ - apertura angular de la barra k en la hora h ;

Restricción de capacidad de los circuitos para la hora h :

$$-\bar{f}(k, l) \leq f(l, h) \leq \bar{f}(k, l), f(l, h), \text{ para } l = 1, \dots, L, h = 1, \dots, H \quad (7)$$

Donde:

$\bar{f}(l)$ - máximo carga para el circuito l cuyos nodos origen y destino son $j - k$, respectivamente.

Una vez finalizada la ejecución de este despacho, se verifica que el mismo cumple con los criterios eléctricos definidos en la regulación. Para ello, se verifica que se cumpla con el criterio N-1 y se deberán realizar estudios de flujo de carga y estabilidad con el fin de verificar que se cumplan con los demás criterios de seguridad y confiabilidad del sistema.

En caso de encontrar que no se cumple alguno de los criterios, el Operador del Sistema ajustará el despacho, minimizando las desviaciones en forma económica con el fin de garantizar los criterios de confiabilidad y seguridad.

El resultado de este último despacho corresponderá al Despacho Factible Vinculante del cual se obtienen las cantidades vinculantes de energía y la asignación y precios de la reserva del sistema.

4.2.3.3 *Cálculo del precio de los SSCC*

El precio por hora de los SSCC es igual al valor marginal de cada servicio complementario durante esa hora resultante del despacho factible vinculante.

4.2.4 *Reconciliaciones de energía*

Una vez se obtengan los resultados del Despacho Factible Vinculante, es necesario realizar un mecanismo de reconciliación, entre el Despacho Ideal y el Despacho Factible Vinculante para el concepto de energía.

Para realizar el cálculo de las reconciliaciones de energía se determina la diferencia entre la cantidad de energía despachada en el Despacho Factible Vinculante y la cantidad de energía despachada en el Despacho Ideal. Si para un determinado

recurso esta diferencia es mayor que cero aparece una reconciliación positiva la cual se valora al precio de reconciliación positiva establecido en la regulación vigente.

4.3 Mercado Intradiario

Las sesiones del Mercado Intradiario⁴, independientemente de su número, se ejecutarán de la misma forma que el Mercado Diario del Día Anterior (Descripción en el Numeral 4.2), volviendo a ejecutar un Despacho Ideal y un Despacho Factible Vinculante para todo el sistema, pero cambiando el horizonte de operación y utilizando la información actualizada que se haya producido a partir del cierre de la sesión de mercado anterior, incluyendo las cantidades y precios de la energía y de SSCC.

A partir del Despacho Ideal de cada sesión del mercado intradiario, se calculará el MPO de la sesión correspondiente que será la base para liquidar la energía de dicha sesión.

A partir del Despacho Factible vinculante de cada sesión del mercado intradiario se calculará el precio de los SSCC de la sesión correspondiente (Que es igual al precio marginal de cada servicio complementario en dicha sesión) que será la base para liquidar los SSCC de dicha sesión.

4.3.1 Definición de estados

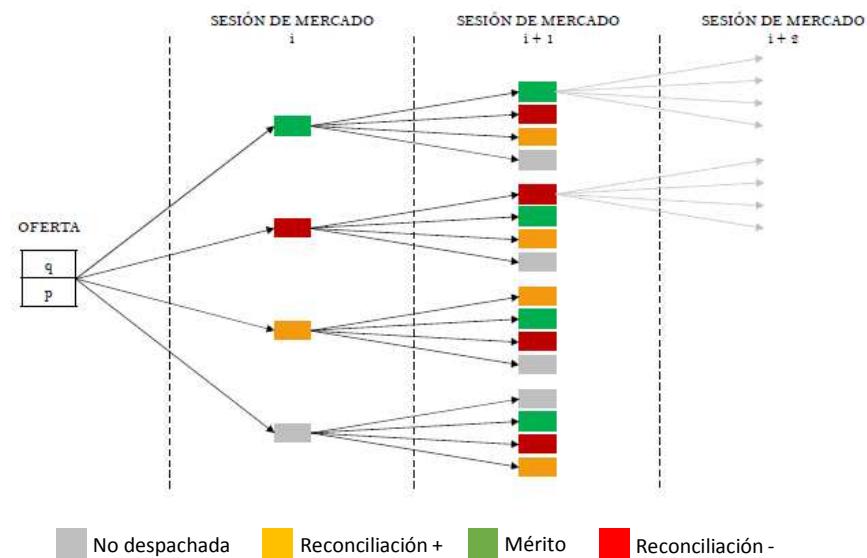
Para efectos de aplicar las reconciliaciones de energía requeridas entre las distintas sesiones del mercado, es necesario determinar inicialmente el estado en que se encuentra cada una de las plantas con el fin de determinar la liquidación que aplica en cada uno de los casos.⁵

Estos estados se determinan a partir de la comparación entre los resultados de energía despachada en el Despacho Ideal y el Despacho Factible Vinculante de cada sesión. Como resultado de esta comparación se determina para cada una de las plantas en cuál de los siguientes estados se encuentra: generación en mérito,

⁴ El Despacho Factible Vinculante corresponde a la primera sesión del Mercado Intradiario

⁵ Para la definición de estados, las reconciliaciones de energía en el mercado intradiario y la determinación de las liquidaciones a aplicar en cada caso se considera lo definido en la propuesta regulatoria realizada por la Universidad de Comillas, publicada en la Circular CREG 005 de 2019, particularmente lo definido el Anexo 2 de dicha propuesta.

generación fuera de mérito, generación en reconciliación negativa y generación no despachada. En la siguiente figura se presenta esquemáticamente todas las posibles combinaciones de cambios de estado de planta de una sesión a la siguiente:



A partir de esta definición del estado de cada una de las plantas, se calculará la reconciliación entre sesiones aplicando la liquidación que corresponda tal como se presenta en el siguiente numeral.

4.3.2 Reconciliaciones de energía entre sesiones de mercado

En caso de que se presenten cambios de estado entre la sesión vigente y la sesión anterior debe realizarse la reconciliación de energía, utilizando para ello los despachos factibles vinculantes de cada una de las sesiones y aplicando la siguiente liquidación para cada uno de los cambios de estados presentados.

4.3.2.1 Liquidación estándar

Tal como fue presentado en el Anexo 1 de este documento, para la mayoría de los cambios de estado presentados entre las distintas sesiones del Mercado Intradiario se utiliza una liquidación estándar.

La liquidación estándar se obtiene multiplicando, para cada sesión, la cantidad despachada en el despacho factible para dicha sesión por el precio del mercado ideal. Los precios ideales de las sesiones posteriores a la primera se aplicarán sólo a la diferencia entre la cantidad despachada en el despacho factible para la sesión actual menos la cantidad despachada en la sesión anterior.

4.3.2.2 *Liquidaciones especiales*

Existen casos para los cuales no es posible la aplicación de la liquidación estándar. Estos casos fueron analizados en forma detallada en la propuesta regulatoria realizada por la Universidad de Comillas, particularmente en el Anexo 2 de la Circular CREG 005.

4.3.2.3 *Cuadro resumen de liquidaciones*

A continuación se presenta el cuadro que resume la liquidación a aplicar en cada uno de los casos de acuerdo a los cambios de estado que se presentan entre las distintas sesiones del mercado.

		Sesión i+1				
		q	p			
Sesión i	q					
		Liquidación estándar	Liquidación estándar sólo si hay ganancias	Liquidación estándar (compromiso previo)	Liquidación estándar	
		Liquidación estándar	Liquidación estándar	Liquidación estándar	Liquidación estándar	
		Liquidación estándar (compromiso previo)	Anulación compromiso previo	Liquidación estándar (compromiso previo)	Coste ocasionado (con limitaciones)	
		Liquidación estándar	Liquidación estándar	Liquidación estándar	Liquidación estándar	

No despachada
 Reconciliación +
 Mérito
 Reconciliación -

4.3.3 *Reconciliaciones de SSCC entre sesiones de mercado*

Para calcular las reconciliaciones de SSCC entre sesiones del mercado, deberá calcularse la diferencia entre los despachos factibles vinculantes de cada sesión. Dicha diferencia será valorada al precio del respectivo SSCC de la sesión vigente.

4.4 *Mecanismo de Balance*

El mecanismo de balance se compone de los siguientes aspectos:

- a) Activación de la reserva asignada en cada sesión del mercado intradiario.
- b) Autorizaciones del operador del sistema que pueden corresponder a activación de reserva no asignada o a desviaciones de energía de los recursos disponibles buscando la optimización económica
- c) Desviaciones no autorizadas por el operador denominadas desviaciones voluntarias

A continuación se presenta la forma de liquidar cada una de estos conceptos para lo cual deberán considerarse las diferencias entre el Despacho Factible Vinculante y el Despacho Real.

4.4.1 Liquidación activaciones de reserva

A las plantas que prestan el servicio de reserva a través de los SSCC se les considera dos conceptos independientes para la liquidación:

- a) Disponibilidad para prestar el servicio, ya sea para subir o para bajar (La metodología para la liquidación por este concepto se explica en el numeral 4.5)
- b) Prestación efectiva del servicio (activación de reserva para subir o para bajar): la metodología para la liquidación es la siguiente:
 - Si la disponibilidad de reserva a subir de una determinada planta es activada, este recibirá, la cantidad de energía activada que sube valorada al precio de energía de reconciliación positiva del mercado de energía correspondiente, así:

$$\begin{aligned} &\text{Remuneración por activación de reserva a subir} \\ &= \text{Cantidad de energía activada a subir} \times \text{Precio Rec Positiva} \end{aligned}$$

- Si la disponibilidad de reserva a bajar de una determinada planta es activada, este agente deberá devolver la cantidad de energía activada que baja valorada al precio de la energía de la sesión del mercado intradiario correspondiente, así:

$$\begin{aligned} &\text{Devolución por activación de reserva a bajar} \\ &= \text{Cantidad de energía activada a bajar} \times \text{PMI de la sesión correspondiente} \end{aligned}$$

4.4.2 Liquidación desviaciones de energía

Las desviaciones de energía pueden dividirse en dos conceptos tal como se describe a continuación.

4.4.2.1 Desviaciones autorizadas

Durante el día de operación el Operador del Sistema puede requerir energía adicional para mantener en todo instante el balance generación-demanda. Para ello deberá entonces:

- a) Inicialmente activar la reserva terciaria que tenga disponible
- b) En caso de que esta reserva no sea suficiente, deberá minimizar económicamente la cantidad para mantener el balance generación demanda, teniendo en cuenta la reserva que no ha sido asignada y la energía disponible considerando las últimas ofertas de cada uno de los recursos.

Como consecuencia de este proceso de ajuste del balance generación-demanda se generan desviaciones autorizadas de los recursos de generación tanto a subir como a bajar. Dichas desviaciones serán liquidadas así:

- Las desviaciones a subir autorizadas por el Operador del Sistema se valorarán multiplicando la cantidad que sube por el máximo precio entre el Precio del Mercado de la sesión correspondiente y el precio de energía de reconciliación positiva del respectivo recurso de generación, así:

Remuneración por desviaciones autorizadas a subir

$= \text{Cantidad de energía autorizada a subir} \times \text{Max(PMI de la sesión correspondiente, Precio Rec Positiva)}$

- Las desviaciones a bajar autorizadas por el Operador del Sistema no serán objeto de ninguna liquidación adicional, así:

Remuneración o pago por desviaciones autorizadas a bajar = 0

4.4.2.2 Desviaciones voluntarias

Estas desviaciones corresponden a las diferencias entre el despacho real y el Despacho Factible Vinculante que no corresponden a las autorizadas por el Operador del Sistema. En este caso la liquidación sería como se presenta a continuación:

- Desviaciones voluntarias hacia arriba: no reciben remuneración, así

Remuneración por desviaciones voluntarias hacia arriba = 0

- Desviaciones voluntarias hacia abajo: en este caso la planta deberá pagar la cantidad desviada multiplicada por el precio de activación de la reserva más costosa, así:

Pago por desviaciones voluntarias hacia abajo

= *Cantidad de energía desviada hacia abajo x Precio de activación de la reserva mas costosa*

4.4.3 Responsabilidad de pagos asociados al mecanismo de balance

Una vez finalizadas las liquidaciones del mecanismo de balance se deben determinar los valores netos resultantes que corresponden a las diferencias entre los valores pagados y cobrados. En caso de ser necesario los montos calculados serán recaudados o distribuidos entre los comercializadores en proporción a su demanda comercial.

4.5 Liquidación de la disponibilidad para prestar el servicio de reserva

Como se mencionó anteriormente las plantas que prestan el servicio de reserva a través de los SSCC serán remuneradas por su disponibilidad para prestar el servicio, ya sea para subir o para bajar.

La remuneración a recibir por esta disponibilidad se calculará a partir de las cantidades de reserva asignadas a cada planta en el Despacho Factible Vinculante multiplicado por el precio del respectivo servicio complementario obtenido del Despacho Factible Vinculante y calculado de acuerdo a lo explicado en el numeral 4.2.3.3, así:

Remuneración por disponibilidad de reserva

= *Cantidad de reserva asignada en el DFV x Precio del SSCC calculado en el DFV*

4.6 Cálculo de costos de arranque y parada

Este valor será calculado después del cierre del mercado, considerando todas las sesiones del mercado e identificando las plantas que tienen generación real y cuya remuneración no cubre los costos de arranque y parada. Estos valores de costos no cubiertos para el día de operación se suman, y se dividen por el total de la demanda del sistema, para hallar el valor conocido como \bar{C}_i correspondiente. Este valor será pagado por todas las plantas en proporción a su generación real.

4.7 Transacciones Internacionales

Las transacciones internacionales serán determinadas de acuerdo con la metodología vigente, en el Despacho Factible Vinculante y no serán objeto de modificación en el Mercado Intradiario. La valoración de estas transacciones se definirá, como en la actualidad, de forma ex post utilizando el precio del último Despacho Ideal.

5 RECOPILACIÓN INFORMACIÓN DEL SIN

El 20 de septiembre, el Operador del Mercado remitió la información para la ejecución de las simulaciones. La información suministrada consta de cinco (5) días que permiten evaluar diferentes condiciones del sistema así:

- a) Precio de bolsa supera el precio de escasez: 13 de febrero de 2017
- b) Indisponibilidad de algún enlace Intercosta 500kV: 10 de febrero de 2018
- c) Redespacho del Control Automático de Generación (AGC): 20 de junio de 2019
- d) Situación en la que se incluyeron recursos térmicos en el redespacho que no fueron programados en el Despacho Económico: 27 de marzo de 2019
- e) Día sin que se presente una situación especial: 17 de agosto de 2019

Para cada uno de estos días fueron suministrados todos los archivos asociados con el Despacho, el Redespacho, el Despacho Ideal y la Liquidación de las transacciones.

El consultor ha revisado los archivos suministrados y a la fecha ha identificado las principales variables que se requieren para simular las reglas operativas y de liquidación del mercado entre las cuales se resaltan:

- Los precios de oferta y la declaración de disponibilidad de los generadores
- La oferta de AGC por planta
- Demanda total del sistema
- Predespacho ideal por planta
- Despacho programado por planta
- Despacho programado de AGC

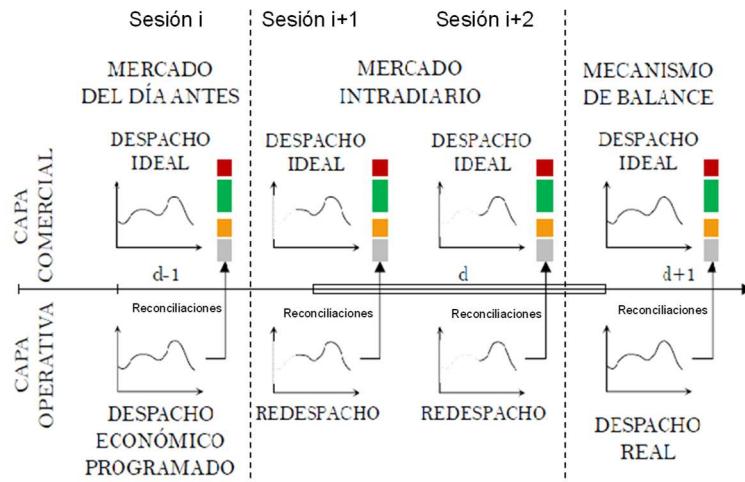
ANEXO 1. PROPUESTA UNIVERSIDAD DE COMILLAS

A continuación se presentan los principales aspectos definidos en esta propuesta:

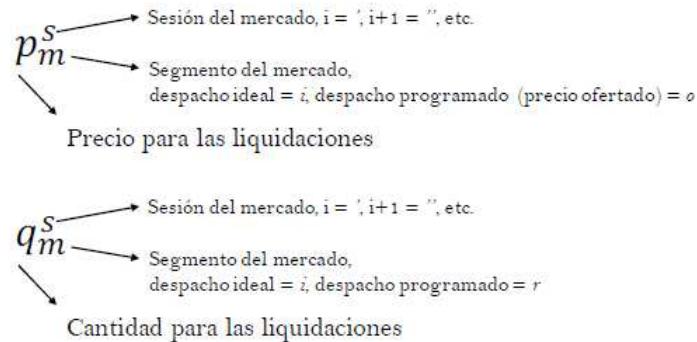
- Mantener la actual separación entre la capa operativa y la capa comercial del Mercado.
- Ejecutar el Despacho Ideal sin red el día anterior a la operación, utilizando, las previsiones sobre demanda y disponibilidad de las unidades de generación y calculando un precio uniforme.
- El mismo día anterior, realizar un despacho económico programado que considera las restricciones de la red. El resultado de este despacho define los compromisos vinculantes de los agentes del mercado y corresponde al Despacho Factible Vinculante.⁶
- Calcular las reconciliaciones entre el Despacho Ideal sin red y el despacho económico programado con red (Despacho Factible Vinculante). manteniendo el esquema vigente de liquidación de las reconciliaciones y los precios de reconciliación positiva y negativa.
- Implementar un Mercado Intradiario basado en subastas discretas. Cada subasta replicará el proceso de casación y despacho del mercado diario, volviendo a despachar todo el sistema, pero cambiando el horizonte de operación y utilizando la información actualizada que se haya producido a partir del cierre de la sesión del mercado anterior.
- En cada sesión del mercado, los agentes pueden encontrarse en uno de los siguientes estados: generación casada en mérito, generación despachada fuera de mérito (reconciliación positiva), generación en reconciliación negativa y generación no despachada.
- Las reconciliaciones pueden cambiar de estado de una sesión de mercado a otra.

⁶ Se considera la alternativa de realizar la cooptimización de energía y reserva

- Existiría un Mecanismo de Balance que permitirá asignar de manera eficiente los costos de los desvíos entre sesiones del mercado y los costos de los desvíos entre la última sesión del mercado y el tiempo real.
- El esquema general de la propuesta se presenta en el siguiente gráfico:



- Los compromisos financieros, se establecerán teniendo en cuenta los cambios de estado de los compromisos vinculantes entre cada sesión de mercado.
- Se propone una fórmula de liquidación denominada como liquidación estándar. Esta liquidación se obtiene multiplicando, para cada sesión, la cantidad casada en el despacho programado con red (Despacho factible vinculante) para dicha sesión por el precio del mercado ideal. Los precios ideales de las sesiones posteriores a la primera se aplicarán a la diferencia entre la cantidad casada en el despacho programado (Despacho Factible Vinculante) para la sesión actual menos la cantidad casada en la sesión anterior. Cuando haya generación en reconciliación positiva en una de las dos sesiones el precio usado para la liquidación de esa sesión sería el precio de la reconciliación positiva y no el precio de bolsa.



$$\text{Liq. estándar} = p_i' q_r' + p_i'' (q_r'' - q_r')$$



- Existen unos cambios de estado en los cuales la aplicación de la liquidación estándar no proporcionaría una señal eficiente o, directamente, no es posible y se requieren liquidaciones más complejas. Para dichos casos se recomienda la siguiente liquidación.

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

		Sesión i+1			
		q	p		
Sesión i	q	Liquidación estándar	Liquidación estándar sólo si hay ganancias	Liquidación estándar (compromiso previo)	Liquidación estándar
	p	Liquidación estándar	Liquidación estándar	Liquidación estándar	Liquidación estándar
	q	Liquidación estándar (compromiso previo)	Anulación compromiso previo	Liquidación estándar (compromiso previo)	Coste ocasionado (con limitaciones)
	p	Liquidación estándar	Liquidación estándar	Liquidación estándar	Liquidación estándar

No despachada
 Reconciliación +
 Mérito
 Reconciliación -

ANEXO 2. PROPUESTA CONSORCIO PSR-DI-AVANTE

A continuación, se presentan los principales aspectos definidos en esta propuesta:

- Se considera que los agentes del mercado deberán ofertar además de la energía, los productos de regulación secundaria (Hacia arriba y hacia abajo) y regulación terciaria de frecuencia⁷. Dichas ofertas, estarán compuestas por cantidades horarias diferentes y un precio único para las 24 horas del día siguiente y se efectuarán en la misma oportunidad y en los plazos que se definen para el mercado de energía.
- Las ofertas recibidas de cantidad y precio para SSCC se someten a un análisis de competencia o poder de mercado, mediante el cual se modifican los precios de las cantidades de las ofertas de los proveedores pivotales a un valor igual al costo regulado establecido por el regulador.
- Ejecutar el Despacho Ideal sin red el día anterior a la operación, y a partir de este, definir las cantidades vinculantes de energía y SSCC, mediante un proceso de co-optimización de energía y reservas. Como resultado de este proceso se obtienen las cantidades de reservas seleccionadas y el precio al que serán remuneradas será el costo marginal de la reserva respectiva obtenido en el proceso de co-optimización.
- El mismo día anterior, realizar un despacho económico programado considerando la co-optimización de energía y reservas y considerando las restricciones de la red.
- Ejecutar un mecanismo de reconciliación para la energía y los SSCC, entre el Despacho Ideal sin red y el despacho económico programado con red. Existirá una reconciliación positiva de SSCC cuando el despacho factible incorpore una unidad para otorgar servicios de reserva que no estaba contemplada en el Despacho Ideal. Dicha unidad recibirá el nuevo precio por la cantidad de reserva adicional. Habrá reconciliaciones negativas (las unidades que aparecían

⁷ La propuesta plantea también la posibilidad de realizar ofertas para el servicio de regulación primaria, pero según lo coordinado con la CREG, esta se mantendría tal como está definido actualmente, como un servicio obligatorio y no remunerado.

seleccionadas para dar reserva en el Despacho Ideal, pero físicamente no pueden otorgarlas por restricciones de transmisión). La reconciliación negativa corresponderá a la cantidad de reserva no proporcionada al precio original del Despacho Ideal (Es decir, dicha unidad quedará neutra devolviendo el dinero que se le pagó previamente).

- Se determina la remuneración de las reservas como las cantidades definidas en el Despacho Ideal multiplicada por el precio de las reservas en dicho despacho más las reconciliaciones positivas y negativas correspondientes.
- Para las sesiones del Mercado Intradiario no se contempla cambio de ofertas de SSCC. Sin embargo, durante dichas sesiones puede darse el caso de que una unidad resulta despachada en el mercado de energía como resultado de la co-optimización en dicha sesión y sale del mercado de SSCC no recibiendo su remuneración de disponibilidad de reserva a partir de ese momento.
- El día siguiente a la operación se calculan las activaciones de la reserva. Dichas activaciones se valoran así:
 - Si la disponibilidad de reserva a subir es activada, recibirán (Además de su remuneración por la disponibilidad), el monto de energía que sube valorada al precio de energía de reconciliación positiva del mercado de energía.
 - Si la disponibilidad de reserva a bajar es activada, la unidad recibirá únicamente su remuneración por la disponibilidad.
- Los incumplimientos serán penalizados considerando un monto para la penalidad así:
 - Incumplimientos de reserva primaria y terciaria: monto recibido desde la última vez que fue llamado y cumplió
 - Incumplimiento de reserva secundaria: Precio de escasez de la energía multiplicado por el monto no entregado.

- El esquema general de la propuesta para el tratamiento de los SSCC en el SIN, se presenta en el siguiente gráfico:

