



Bogotá D.C., 20 de noviembre de 2023

Doctor
OMAR FREDY PRIAS CAICEDO
Experto Comisionado
COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS-CREG
Ciudad

Asunto: Antecedentes del cumplimiento del artículo 5 de las Resoluciones CREG 101 006 y 007 de 2023.

Respetado Comisionado Prias:

El Consejo Nacional de Operación-CNO en ejercicio de las funciones que la Ley 143 de 1994 le ha asignado, de acordar los aspectos técnicos para garantizar que la operación integrada del Sistema Interconectado Nacional-SIN sea segura, confiable y económica, ser el organismo ejecutor del Reglamento de Operación, y considerando lo definido en los Artículos 5 de las Resoluciones CREG 101 006 y 007 de 2023, donde se establece: “(...) El C.N.O. deberá definir, mediante Acuerdo, la metodología de modelamiento energético de plantas eólicas (solares fotovoltaicas), teniendo en cuenta al menos lo siguiente (...)”, presenta a continuación los antecedentes de las gestiones realizadas para dar cumplimiento con el mandato regulatorio.

Antecedentes:

- El Consejo Nacional de Operación en comunicaciones y diferentes reuniones con funcionarios de la Comisión recomendó desde el 2018 ajustar la Resolución CREG 167 de 2017, respecto al cálculo de la Energía en Firme para el Cargo por Confiabilidad-ENFICC de las plantas solares fotovoltaicas, debido a la identificación de algunos errores respecto a la modelación de la producción energética de este tipo de plantas y sus efectos en la determinación de la ENFICC.
- En cumplimiento del mandato regulatorio de la Resolución CREG 167 de 2017, el CNO celebró un convenio específico con la Universidad de los Andes, que tuvo como objetivo la definición de los protocolos y metodologías exigidas por la CREG para el cálculo de la ENFICC de las plantas eólicas. Producto de lo anterior y la experiencia adquirida por el Consejo, se expidió el Acuerdo 1094 de 2018, el cual fue sustituido por los Acuerdos 1127 de 2018, el Acuerdo 1319 de 2020 y el Acuerdo 1754 de 2023, que es el Acuerdo que se encuentra vigente.

- En el marco de los convenios celebrados por el CNO con la Universidad de los Andes, se desarrolló una herramienta computacional de referencia en lenguaje R para modelar la producción de las plantas eólicas y determinar su función de conversión. Posteriormente, se desarrollaron dos aplicativos en lenguaje Python que permiten obtener el modelo potencia-recurso de las plantas solares fotovoltaicas y eólicas, que fueron aprobados por el Consejo mediante los Acuerdos 1616 de 2022 y 1688 de 2023, cuyos códigos se encuentran públicos en el repositorio del CNO en el enlace <https://git.cno.org.co/cno>.

Vale la pena mencionar que para las dos (2) tecnologías de generación la obtención del modelo potencia-recurso implicó modelar la producción energética de este tipo de plantas, y en el caso de los parques eólicos, se siguió permitiendo, a manera de referencia y no obligatoria, la extrapolación de los datos medidos a la altura del buje de los aerogeneradores, la reconstrucción de la serie histórica de datos a partir del año de medición y la construcción de la función de conversión.

- Los modelos asociados a los Acuerdos 1616 de 2022 y 1688 de 2023 fueron producto del trabajo colaborativo entre la Universidad de los Andes, los agentes que conforman el Consejo y el Centro Nacional de Despacho-CND. Para el desarrollo de dichos aplicativos se llevaron a cabo múltiples reuniones de trabajo durante los años 2021, 2022 y 2023, en las que la Universidad socializaba el código de cada modelo de producción, y los agentes junto con el CND, hacían recomendaciones o sugerencias de ajustes. Se debe resaltar que la disposición de formatos, estructura de captura de datos, salidas de los modelos, entre otros aspectos, fueron ajustados en función de las recomendaciones de XM.
- La Comisión expidió el 3 de febrero del año en curso la Resolución CREG 101 006 de 2023, en la que se estableció:

"(...)

Artículo 5. Modelamiento energético de plantas eólicas: El C.N.O. deberá definir, mediante Acuerdo, la metodología de modelamiento energético de plantas eólicas, teniendo en cuenta al menos lo siguiente:

1. *Entrada al modelo de la información de la serie de datos de velocidad y dirección de viento y de temperatura ambiente en sitio con resolución horaria conforme los artículos 3 y 4 de esta resolución.*
2. *Información de la ubicación de la planta eólica y de la distribución y localización de cada aerogenerador.*
3. *Información de otras plantas ubicadas en un radio menor o igual a 5 km en la dirección predominante del viento.*
4. *Información de orografía de terreno, rugosidad del terreno, densidad del aire, altura de buje y curva de potencia del aerogenerador.*

5. *Información de coeficientes de empuje, pérdidas por estela y pérdidas eléctricas. En las pérdidas eléctricas, se debe considerar pérdidas hasta el punto de conexión al SIN, conforme la definición del mismo en el Código de Medida, Resolución CREG 038 de 2014 o todas aquellas que la modifiquen, adicionen o sustituyan.*
6. *Modelar el efecto de la Indisponibilidad Histórica Forzada (IHF) de que trata la Resolución CREG 071 de 2006 o aquellas que la modifiquen, adicionen o sustituyan.*
7. *La metodología debe considerar las características aerodinámicas relevantes que afectan la producción de energía eléctrica de un parque eólico, tanto de plantas eólicas costa adentro (Onshore) como costa afuera (Offshore).*
8. *Deben definirse sin ambigüedades todas las variables a considerar en el modelamiento energético, con su calidad y tratamiento, así como cualquier otra información relevante para el mismo.*
9. *El modelamiento energético debe entregar como resultado la producción horaria de energía de la planta eólica en kWh, correspondiente a la serie histórica de datos ingresada.*

“(...) Artículo 9. Aplicativo de Cálculo. El CND estará encargado de operar, mantener y realizar las actualizaciones de dicho aplicativo de cálculo publicado por la Comisión, teniendo en cuenta que este aplicará los Acuerdos CNO siguiendo lo dispuesto en los artículos 5, 6 y 8 de esta resolución, a partir de los parámetros declarados de la planta. El CND enviará a la Comisión el aplicativo de cálculo y sus actualizaciones para publicación previo a su aplicación (...).”

“(...) Artículo 14. Plazo para los Acuerdos del Consejo Nacional de Operación (C.N.O.) y para el CND en el desarrollo del aplicativo de cálculo. El CND tendrá un plazo máximo de cuatro (4) meses calendario para enviar el aplicativo de cálculo computarizado para el modelamiento energético señalado en el artículo 9 de esta resolución, incluyendo el manual de uso con los requisitos definidos en dicho artículo (...).”

(...)”

- La Comisión expidió el 3 de febrero del año en curso la Resolución CREG 101 007 de 2023, en la que se estableció:

“(...)”

Artículo 5. Modelamiento energético de plantas solares. El C.N.O. deberá definir, mediante Acuerdo, la metodología de modelamiento energético de plantas solares fotovoltaicas, teniendo en cuenta al menos lo siguiente:

1. *Entrada al modelo de la información de la serie de datos de irradiación global horizontal y de temperatura ambiente en sitio con resolución horaria conforme los artículos 3 y 4 de esta resolución.*
2. *Información de localización de la planta solar y de la distribución y ubicación de cada grupo de paneles solares fotovoltaicos.*
3. *Tipo de tecnología de paneles solares fotovoltaicos a utilizar y eficiencia de conversión, incluyendo si son de una sola cara, dos caras o bifaciales, el tipo de material u otras nuevas características tecnológicas.*
4. *Tipo de estructura a utilizar: fija, fija con algún grado de orientación, seguidora, seguidora de un eje, seguidora de dos ejes, u otros.*
5. *Número de inversores, configuración de paneles solares por inversor y sus características técnicas.*
6. *Información de pérdidas de energía por temperatura, pérdidas por tipo de estructura, pérdidas eléctricas u otras pérdidas en la instalación. En las pérdidas eléctricas, se debe considerar pérdidas hasta el punto de conexión al SIN conforme la definición del mismo en el Código de Medida, Resolución CREG 038 de 2014, o todas aquellas que la modifiquen, adicionen o sustituyan.*
7. *Tiempo de operación de los paneles solares, utilizando el factor de degradación suministrado por el fabricante de los paneles.*
8. *Modelar el efecto de la Indisponibilidad Histórica Forzada (IHF) de que trata la Resolución CREG 071 de 2006 o aquellas que la modifiquen, adicionen o sustituyan.*
9. *Para modelar la producción de energía de la planta solar fotovoltaica, se tendrán en cuenta todas aquellas horas donde se tenga irradiación diferente a cero.*
10. *Deben definirse sin ambigüedades todas las variables a considerar en el modelamiento energético, con su calidad y tratamiento, así como cualquier otra información relevante para el mismo.*
11. *El modelamiento energético debe entregar como resultado la producción horaria de energía de la planta solar fotovoltaica en kWh, correspondiente a la serie histórica de datos ingresada.*

“(…) Artículo 9. Aplicativo de cálculo. El CND estará encargado de operar, mantener y realizar las actualizaciones de dicho aplicativo de cálculo publicado por la Comisión, teniendo en cuenta que este aplicará los Acuerdos C.N.O. siguiendo lo dispuesto en los artículos 5, 6 y 8 de

esta resolución, a partir de los parámetros declarados de la planta. El CND enviará a la Comisión el aplicativo de cálculo y sus actualizaciones para publicación previo a su aplicación.

“(…) Artículo 14. Plazo para los Acuerdos del Consejo Nacional de Operación (C.N.O.) y para el CND en el desarrollo del aplicativo de cálculo. El CND tendrá un plazo máximo de cuatro (4) meses calendario para enviar el aplicativo de cálculo computarizado para el modelamiento energético señalado en el artículo 9 de esta resolución, incluyendo el manual de uso con los requisitos definidos en dicho artículo (...).”

(...)”

- Considerando el desarrollo de los aplicativos y modelos de producción energética previamente citados, asociados a los Acuerdos 1616 y 1688, se estableció un nuevo convenio específico con la Universidad de los Andes, para formular la metodología de modelamiento energético de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas.
- Dando cumplimiento al plazo regulatorio, el CNO expidió el 14 de julio del año 2023 el Acuerdo 1721 “Por el cual se aprueba el protocolo de definición de la metodología de modelamiento y el procedimiento para la revisión y actualización del modelamiento de plantas eólicas”, y el Acuerdo 1729 “Por el cual se aprueba el protocolo de definición de la metodología de modelamiento y el procedimiento para la revisión y actualización del modelamiento de plantas solares”.
- El 19 de septiembre del 2023 el CND solicitó ajustar aspectos de redacción en los Acuerdos 1721 y 1729, aclarar algunos entendimientos sobre la consideración y modelaje de algunos parámetros, y definir todas las ecuaciones para la modelación de la producción de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas, debido a la imposibilidad de usar en el nuevo desarrollo herramientas y librerías de externos, como el Laboratorio SANDIA perteneciente al Departamento de Energía de Estados Unidos-DOE (consideradas versiones “Beta” en ese momento por el CND).
- El 21 de septiembre del 2023 la Universidad de los Andes respondió cada una de las observaciones del CND, ajustando la redacción y aclarando algunos aspectos sobre el modelaje de ciertos parámetros. Adicionalmente, se reiteró la aclaración al CND en el sentido que las herramientas y librerías incluidas en los Acuerdos 1721 y 1729 no eran versiones “Beta”, y se encuentran soportadas por organismos dedicados a la investigación y desarrollo, como es el caso del Laboratorio SANDIA del DOE. A pesar de lo anterior, el CND comentó que revisarían si efectivamente podían utilizar dichas herramientas y librerías externas, ya que, por protocolos internos de ISA y ECOPETROL, no podían usar este tipo de desarrollos. También comentó que analizarían los ajustes propuestos por la Universidad de los Andes.

En esta reunión el CNO propuso tener mesas técnicas entre la Universidad de los Andes, el CNO y el contratista desarrollador del CND, con el objetivo de tener un proceso de comunicación directa y de solución de inquietudes. Al respecto no se tuvo respuesta por parte del CND.

- El 25 de octubre del 2023 el CND manifestó que estaban validando el uso de herramientas y librerías externas, y presentaron nuevas observaciones sobre los Acuerdos originales y las propuestas de ajuste socializadas por la Universidad de los Andes el 21 de septiembre del año en curso. Específicamente solicitó: **i)** aclarar si la Indisponibilidad Histórica Forzada-IHF se consideraba en % o en p.u.; **ii)** incluir nuevamente ecuaciones en lugar del uso de herramientas/librerías externas; **iii)** determinar el uso o no de ciertos parámetros cuando estos no son incluidos en ninguna expresión matemática; **iv)** incorporar parámetros generales relacionados a los inversores y aerogeneradores (marca y modelo), y **v)** definir un solo modelo en las herramientas/librerías externas cuando estas permiten obtener ciertos parámetros bajo diferentes enfoques, que influyen en la producción de una planta solar fotovoltaica.
- El 31 de octubre del 2023 el CND solicitó a la Universidad de los Andes su colaboración para establecer la forma de parametrizar los inversores de las plantas solares fotovoltaicas a través de las herramientas y librerías desarrolladas por el Laboratorio SANDIA del DOE. Producto de esta colaboración la Universidad identificó e informó al CND que en dicha parametrización se debían considerar dos (2) nuevos parámetros, voltajes mínimos y máximos de los inversores (V_{min} y V_{max}), y no solamente la tensión nominal, y se le propusieron algunas opciones para incluir estos parámetros. Este mismo día el CND informó esta situación al CNO.
- El 2 de noviembre el CNO y la Universidad de los Andes plantearon al CND una metodología sencilla para establecer las tensiones mínimas y máximas de los inversores a partir de un modelo sencillo de ajuste lineal, que contemplaba como variable independiente a la tensión nominal- V_{nom} ; es decir, no sería necesaria la definición de dos (2) nuevos parámetros, y no se comprometería el cumplimiento del plazo del hito regulatorio del artículo 14. Se revisó el efecto de este ajuste en el código desarrollado por la Universidad de los Andes en el marco del Acuerdo 1616, determinándose que dicha modificación no impactaba la producción de las plantas solares fotovoltaicas respecto al caso original, es decir, cuando se utilizan los tres parámetros (V_{min} , V_{max} y V_{nom}).

Vale la pena mencionar que el CND estuvo de acuerdo con el planteamiento de la Universidad de los Andes y el CNO, y este mismo día indicó que en su aplicativo (artículo 9 de las Resoluciones CREG 101 006 y 007 de 2023), incluirían las herramientas y librerías desarrolladas por externos, como es el caso del Laboratorio SANDIA del DOE.

- El 9 de noviembre del 2023 se expidieron los Acuerdos T768 y T769 por los que se actualizaron los Acuerdos T721 y T729, que incluyeron los ajustes y sugerencias de XM a los *protocolos de definición de la metodología de modelamiento y el procedimiento para la revisión y actualización del modelamiento de plantas eólicas y de plantas solares*, respectivamente.
- El 14 de noviembre, dos (2) días antes del cumplimiento del hito regulatorio definido en el artículo 14 de las Resoluciones CREG 101 006 y 007 del 2023, el CND solicitó una reunión urgente con el CNO y la Universidad de los Andes, debido a los resultados que estaban obteniendo en las pruebas de su herramienta para las plantas eólicas (Acuerdo T768). Específicamente, el CND al comparar sus

resultados con los obtenidos a partir del aplicativo CNO asociado al Acuerdo 1688, estaba encontrando “diferencias importantes”.

- El 15 de noviembre del 2023, un (1) día antes del cumplimiento del hito regulatorio definido en el artículo 14 de las Resoluciones CREG 101 006 y 007 del 2023, se llevó a cabo una reunión entre el CNO, la Universidad de los Andes y el CND. En ella XM presentó las diferencias que estaban encontrando, según ellos, entre lo definido por el Acuerdo T768 y el código desarrollado por la Universidad de los Andes en el marco del Acuerdo 1688. Al respecto, la Universidad pudo evidenciar una falta de entendimiento por parte del CND del modelaje del efecto estela, y aclaró a XM que lo escrito en el Acuerdo T768 es totalmente consecuente con el código asociado al Acuerdo 1688.

Efectivamente se identificaron errores de digitación en el Acuerdo T768, asociados a signos en cinco (5) ecuaciones correspondientes al proceso de corrección de la velocidad del viento por efecto de grandes parques y el cálculo de la velocidad del viento perturbada por el efecto estela. No obstante, la corrección a estos errores en el código del CND se pudieron haber subsanado rápidamente, así como XM ajustó el cálculo del área de influencia de la estela, al identificarse en la expresión 7.7 del Acuerdo T768 que en lugar de las coordenadas asociadas al centro de la estela (vector de tres dimensiones) debía contemplarse la distancia entre esta y el centro del buje del aerogenerador (escalar).

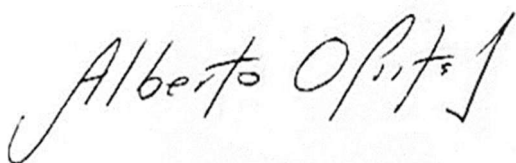
Conclusiones:

- Es importante resaltar que el desarrollo del modelo del CNO es el resultado de un trabajo colaborativo por más de tres (3) años, con permanentes iteraciones entre la Universidad de los Andes como desarrollador experto en los aspectos técnicos y físicos, los agentes y el CND.
- El CND informó al CNO su decisión de no utilizar el código desarrollado en software libre (Python) por el Consejo, no obstante este se encuentra público, licenciado GPL (General Public License), lo cual le permitió al CND estudiarlo, usarlo para validar su desarrollo, y de haberlo decidido, compartirlo (copiarlo) y modificarlo.
- Consideramos que, así como fue posible que el desarrollador del CND (contratista) corrigiera el error de digitación asociado al área de influencia de la estela, desconocemos por qué no fue posible hacer lo mismo con los signos.
- Como se evidenció en los antecedentes, el desarrollo de los nuevos modelos por parte del CND debió implicar un proceso colaborativo y comunicativo entre la Universidad de los Andes y el desarrollador del CND (contratista), como lo sugirió el CNO. Dado que lo anterior no ocurrió, no fue posible mitigar el riesgo de que en la fecha de cumplimiento del hito regulatorio del artículo 14 de las Resoluciones CREG 101 006 y 007 de 2023 (16 de noviembre), se presentaran lo que en el desarrollo de software se denomina “sorpresas de último minuto”.

Solicitudes:

- De manera atenta solicitamos a la CREG compartir con el CNO el desarrollo del contratista del CND, para que la Universidad de los Andes pueda estudiarlo y analizarlo.
- Finalmente, solicitamos una reunión con la Comisión para presentar con la Universidad de los Andes los detalles de esta comunicación y los argumentos que sustentan nuestras observaciones.

Atentamente,



Alberto Olarte Aguirre
Secretario Técnico CNO

Copia: Dr. Omar Andres Camacho. Ministro de Minas y Energía-MINENERGÍA.
Dr. Javier Campillo Jiménez. Viceministro de Energía. MINENERGÍA.
Dr. Hugo Enrique Pacheco León. Asesor Jurídico. CREG.
Dr. Juan Carlos Morales. Gerente del CND.
Dr. Andres Gonzalez Mancera. Profesor Asociado. Universidad de los Andes.