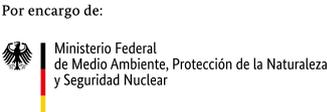


Pronóstico de potencia eólica y solar centralizado

Resultados de la evaluación del servicio de pronósticos de energías
renovables, eólica y solar centralizado



de la República Federal de Alemania

Como empresa federal, la GIZ asiste al Gobierno de la República Federal de Alemania en su labor para alcanzar sus objetivos en el ámbito de la cooperación internacional para el desarrollo sostenible..

Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania

Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania

Nombre del proyecto:

Proyecto Transición Energética
Fomento de Energías Renovables para implementar
los Objetivos Climáticos en la República Dominicana

Apdo. Postal 2960
Calle Juan García Bonelly No. 19, Edificio Corporativo DML
Local 2A, Ens. Julieta
10130 Santo Domingo
República Dominicana
Tel.: +1809 541-1430
I: www.transicionenergetica.do

Responsable:

Clemens Findeisen, Director del Proyecto Transición Energética, GIZ



Autor:

Angélica Lam
Dr. Matthias Lange

Diseño/diagramación, etc.:

DIAMOND media GmbH, Neunkirchen-Seelscheid, Alemania

Fotografías/fuentes:

freepik

Por encargo de:

Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU)
Stresemannstraße 128 -130
10963 Berlin
T +49 (0)30 18 305-0
F +49 (0)30 18 305-4375

La GIZ es responsable del contenido de la presente publicación.

Santo Domingo, 2021

Pronóstico de potencia eólica y solar centralizado

Resultados de la evaluación del servicio de pronósticos de energías
renovables, eólica y solar centralizado



ÍNDICE DE CONTENIDO

Abreviaciones	6
1. Prefacio	7
2. Resumen	8
3. Contexto de la evaluación	10
3.1 Antecedentes	10
3.2 Objetivos del proyecto	12
3.3 Alcance del proyecto	12
4. Implementación y evaluación de resultados	13
4.1 Implementación del sistema de pronósticos	13
4.2 Evaluación de pronóstico de generación eólica	14
4.3 Evaluación de la generación eólica en el intradía	16
4.4 Evaluación del pronóstico de generación solar del día en adelante	18
4.5 Evaluación del pronóstico solar intradía	20
4.6 Eventos de la red durante el piloto	22
5. Conclusiones	23
5.1 Conclusiones de la evaluación	23
5.2 Desafíos meteorológicos en los pronósticos	25
6. Recomendaciones y lecciones aprendidas	27
6.1 Recomendaciones generales para mejorar los pronósticos	27
6.2 Recomendaciones generales con enfoque en la operación de la red	29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. MAE día en adelanto para generación eólica	14
Figura 2. BIAS para los pronósticos del día en adelanto de generación eólica	15
Figura 3. Correlación promedio para el día en adelante para generación eólica	15
Figura 4. MAE para pronósticos de generación eólica intradía	16
Figura 5. BIAS para pronósticos de generación eólica intradía	17
Figura 6. Correlación promedio para el intradía en adelante para todos los parques eólicos	17
Figura 7. MAE para pronósticos de generación solar día en adelanto	18
Figura 8. BIAS para pronósticos de generación solar día en adelanto	19
Figura 9. Correlación para los pronósticos de generación solar en el día en adelanto	19
Figura 10. MAE para la generación solar intradía	20
Figura 11. BIAS del pronóstico de la generación solar intradía	21
Figura 12. Correlación de los pronósticos en el intradía de generación solar	21
Figura 16. Ejemplo de rampa en la generación eólica el 20 de julio 2020 a las 16:00. Evento en la red reportado. Negro: Mediciones, Azul: pronóstico día en adelanto, Rojo: Actualizaciones intradiarias	22
Figura 13. Ejemplo de disponibilidades con valores de cero en la primera semana de febrero 2020	24
Figura 14. Brisa Marina en enero en la República Dominicana. Negro: medición. Rojo: pronóstico combinado. Otros colores: modelos individuales	26
Figura 15. Brisa Marina en julio en la República Dominicana. Negro: medición. Rojo: pronóstico combinado. Otros colores: modelos individuales	26
Figura 17. Ejemplo de la combinación de varios modelos de pronósticos - meta pronóstico. Lila: medición, Rojo: pronóstico intradía, Verde: Pronóstico combinado base. Otros colores: pronósticos de modelos individuales	28
Figura 18. Ejemplo de spread de un pronóstico eólico	29
Figura 19. Pronóstico de rampa con spread. La línea roja es la combinación resultante de varios modelos y el área gris tiene como límites el mínimo y máximo del spread del pronóstico	30
Figura 20. Descomposición del spread del pronóstico de rampas. Los diferentes colores son los pronósticos de rampas de modelos individuales y la línea negra la combinación de los diferentes modelos	30
Figura 21. Ejemplo de pronósticos agregados a nivel de nodos de la red.	31
Figura 22. Descomposición de los componentes de la carga vertical de la red (flujos de potencia)	31

ABREVIACIONES

emsys	Energy & Meteo Systems
GIZ	Agencia de Cooperación Alemana
MAE	Error Absoluto Medio, por sus siglas en inglés
MW	Megavatios
OC	Organismo Coordinador
SENI	Sistema Eléctrico Nacional Interconectado
sFTP	SSH File Transfer Protocol

1. Prefacio

El crecimiento, el desarrollo sostenido y la competitividad de la sociedad moderna son posibles basado en el uso de los recursos energéticos. En ese sentido, el suministro de electricidad de forma segura, económica y sustentable constituye uno de los grandes retos de los países en vía de desarrollo. Fruto de esta situación se han desarrollado tecnologías de generación de electricidad a través de fuentes de energía renovables, de las cuales llevan la delantera la energía eólica y solar.

A pesar de los evidentes beneficios de la generación eólica y solar, debido al comportamiento variable de sus fuentes primarias, las mismas provocan el aumento de la incertidumbre de la operación de los sistemas eléctricos. Como este aumento en la incertidumbre puede poner riesgo en la confiabilidad de los sistemas eléctricos.

Fruto de esta necesidad de reducir esta incertidumbre, se desarrollaron modelos y sistemas de pronósticos de energías renovables, los cuales permiten predecir con anticipación (con cierto nivel de precisión) la producción de las centrales eólicas y solares para la planificación y operación de los sistemas eléctricos de potencia.

El Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI) de la República Dominicana es un sistema insular (sistema pequeño, con pocos recursos hidroeléctricos -10% - y sin recursos energéticos internos) y sin interconexiones con otros sistemas, lo cual lo hace vulnerable a las variaciones de generación que producen las fuentes renovables variables. Esta situación no era relevante en los primeros años de instalación de centrales eólicas y solares, lo cual cambió a medida que se incrementó la penetración de estas tecnologías en el SENI, llegando incluso a representar en

algunas horas del día cerca del 25% de la generación del sistema. Esto evidenciaba la urgente necesidad de contar con buenos pronósticos de energía renovables variables para la planificación y coordinación de la operación del SENI.

El Proyecto de Transición Energética y Fomento de Energías Renovables para implementar los Objetivos Climáticos en la República Dominicana, el Ministerio Federal de Medio Ambiente y Protección de la Naturaleza y seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania, la agencia internacional de cooperación Alemana (GIZ) y el Ministerio de Energía y Minas de la República Dominicana, tras el estudio, realizado por la consultora alemana Energy Meteo System, “Apoyo a la mejora de los pronósticos a corto plazo de energías renovables en la República Dominicana” identificó la necesidad de un sistema centralizado de pronósticos en la República Dominicana.

En ese sentido, el Proyecto de Transición Energética, contrato por 12 meses, año 2020, el servicio de un sistema centralizado en el Organismo Coordinador de pronósticos de energías renovables, eólicas y solar. Este servicio de pronóstico abarca a todas las centrales eólicas y solares existentes en el SENI, recibándose de forma centralizada la estimación de la producción horaria de cada una de ellas para diferentes horizontes de tiempo (atendiendo las necesidades de la operación).

Los resultados de la evaluación del “Servicio de pronósticos de energías renovables, eólicas y solar centralizados” se muestran en este documento, donde se presenta las principales experiencias y conclusiones observados durante el proceso, junto a los desafíos y oportunidades que deben de gestionarse para el mejor aprovechamiento de este servicio.



2. Resumen

Tras el estudio “Apoyo a la mejora de los pronósticos a corto plazo de energías renovables en la República Dominicana” se identificó la necesidad de un sistema centralizado de pronósticos para el operador del sistema de este país. Reconociendo esto, la GIZ a través del Proyecto de Transición Energética ha decidido apoyar al OC contratando por 12 meses durante el 2020 un sistema centralizado de pronósticos provisto por energy and meteo systems (emsys). Este informe presenta el alcance del proyecto, los resultados de los primeros 12 meses, conclusiones y recomendaciones.

Los resultados del proyecto son muy satisfactorios. Algunas de las cuestiones identificadas en el estudio “Apoyo a la mejora de los pronósticos a corto plazo de energías renovables en la República Dominicana” han sido corregidas por los agentes en las previsiones que proporcionan. La evaluación del 2020 muestra que en los parques donde hay un pronóstico del agente para el 2019 se alcanzó una mejora promedio de 14% en el pronóstico del agente.

Por lo tanto, el hecho de que el OC disponga de un sistema de previsión centralizado ofrece muchas ventajas, una de las cuales es un incentivo para que los agentes mejoren la calidad de sus previsiones, ya que OC dispone ahora de una referencia neutral para evaluarlas. Este punto es la mejor práctica internacional, ya que se recomienda que los clientes tengan al menos 2 fuentes independientes de previsiones, para proveer la posibilidad de comparación y poder elegir el pronóstico de mayor precisión.

Además, la evaluación muestra una alta precisión de los pronósticos centralizados enviados por emsys. En general se muestra un desempeño promedio entre 4% y 57% mejor que el de los agentes para los pronósticos eólicos en día en adelante y un 18% a 70% para el intradía basado en el MAE promedio. Para la generación solar un 20% y 83% para el día en adelante e intradía basado en el MAE promedio.

Las previsiones intradiarias continuamente actualizadas proporcionan al OC información de alta calidad sobre el corto plazo. Estas previsiones centralizadas sirven al OC como referencia para comparar las previsiones enviadas por los agentes. También sirven como una segunda opinión para la planificación de la operación de la red, así como una reserva en caso de que el pronóstico de los agentes llegue tarde o no llegue en absoluto.

Como se ha visto en los resultados de la evaluación, los pronósticos facilitados por emsys muestran una buena precisión para todos los parques, lo que también es muy útil para el OC, ya que los pronósticos de los agentes tienen un origen diferente. Dependiendo de cada agente la calidad es muy diferente entre los diferentes parques. El OC necesita información confiable para todos los parques con tal de garantizar la operación segura de la red.

En general, el trabajo durante los primeros seis meses fue exitoso ya que no sólo las previsiones funcionaron bien, sino que el OC hizo el esfuerzo necesario para proporcionar la información necesaria. Se requerirá más trabajo para mejorar aún más la transferencia de mediciones y la información de la disponibilidad y recortes de generación.

A continuación, se presentan las conclusiones de forma resumida:

- No hay errores sistemáticos en las previsiones centralizadas de emsys. Las previsiones centralizadas no tienen tendencia a subestimar o sobreestimar la generación. Las previsiones son neutrales en el sentido de que no están optimizadas en función de los intereses individuales. El sistema de previsión centralizado proporciona al OC una referencia para neutral para comparar otros pronósticos.
- Los pronósticos de emsys muestran una alta precisión para todos los parques. Esto proporciona confianza en las previsiones para la planificación del despacho.
- La disponibilidad de las mediciones de la producción de energía es un dato muy importante para optimizar los modelos y realizar correcciones a corto plazo. Si se dispone de mediciones fiables, con alta disponibilidad y poco retraso, es posible lograr un rendimiento aún mayor.
- La corrección intradiaria proporciona una mejor calidad para las horas siguientes. Pero para conseguirlo es muy importante contar con actualizaciones frecuentes y fiables de las mediciones de la producción.

- Las disponibilidades mal comunicadas provocan importantes errores de previsión

A modo de perspectiva, debido a los problemas de la red que se han notificado en la República Dominicana, algunas de las principales recomendaciones con enfoque al funcionamiento de la red son:

- Desplazar el funcionamiento de la red (despacho) y los procesos comerciales más hacia el intradía, donde se dispone de un pronóstico más preciso.
- Garantizar una transferencia electrónica robusta y altamente fiable de las mediciones de generación y la información sobre la disponibilidad.
- No considerar sólo los parques eólicos y solares individuales, sino considerar todo el contexto de la red mirando los agregados en los nodos de la red y tener en cuenta otras variables en los nodos de la red, como la demanda. Adicionalmente, ir un paso más allá mirando el flujo de energía previsto en nodos específicos de la red.
- Considerar información adicional sobre la certidumbre de la situación a pronosticar como el spread.
- Tomar en cuenta el pronóstico de rampas incluyendo su spread. Esto le da más información al OC para prepararse en caso de rampas grandes.

Otras recomendaciones con enfoque de lograr una mejora calidad de los pronósticos son:

- Garantizar una transferencia robusta de datos. Las mediciones de generación son un insumo de alta importancia para la calidad de los pronósticos. En esto el OC debe trabajar junto con los agentes de modo se tenga una alta disponibilidad de mediciones de buena calidad. Esto incluye también la declaración de las disponibilidades de los parques.
- Para integrar las diferentes fuentes de pronóstico y lograr una mejor calidad, se recomienda utilizar un meta-pronóstico. Este es un pronóstico que puede combinar varias fuentes de pronósticos haciendo una combinación ponderada basada en su desempeño. La combinación de varias fuentes de pronóstico tendría en promedio en un mejor desempeño que las fuentes individuales de pronóstico.



3. Contexto de la evaluación

3.1 Antecedentes

Con la creciente participación de las energías renovables variables, que varían en función de la hora del día y de forma estacional y del clima, su integración en el sistema eléctrico adquiere un alto grado de importancia. Para mitigar los efectos causados por esta variabilidad en el sistema eléctrico, es necesario un servicio de pronóstico para la generación de energía eólica y solar. Esto permite predecir la generación de plantas a partir de energía renovable variable, utilizando información meteorológica y ofrece numerosos beneficios operativos y económicos, incluida una planificación fiable de la operación, tarea que en la República Dominicana lleva a cabo el Organismo Coordinador del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (OC).

La realización de esta previsión presenta cierto grado de dificultad, a pesar de que se utilizan modelos modernos de predicción numérica. La naturaleza variable de estos factores meteorológicos introduce un cierto nivel de incertidumbre que debe tenerse en cuenta al utilizar esta información. Aun así, los beneficios completos de los generadores que utilizan energía renovable variable sólo se obtendrán una vez que se dé cabida a su uso, a pesar de su variabilidad y limitada previsibilidad.

Comprendiendo la importancia de esta previsión, la GIZ apoyó al OC en el marco del Proyecto de Transición Energética, con la realización de la consultoría “Apoyo a la mejora de los pronósticos a corto plazo de energías renovables en la República Dominicana”, con el objetivo de analizar el sistema actual de previsión de generación de energía solar y eólica a la red, incluyendo las acciones del operador de la red originadas por los pronósticos.



Este estudio arrojó conclusiones reveladoras ya que, en general, la exactitud de las previsiones de la mayoría de los pronósticos analizados durante la consultoría no cumplía el estándar que debería esperarse según el estado tecnológico actual de los servicios de previsión de generación de energía renovable.

En consecuencia, energy & meteo systems hizo una serie de recomendaciones, entre las que se encontraba la necesidad de que el OC contratara un sistema de previsión centralizado, es decir, que recibiera las previsiones de las unidades de energía renovable variable (ERV) de uno o más proveedores de servicios y, por lo tanto, las previsiones no se tomarían sólo de las enviadas por los operadores de las centrales individuales. Las experiencias de otros países muestran que sólo un enfoque de previsión centralizado garantiza una alta calidad en todas las unidades de ERV.

En vista de esta necesidad y debido a la importancia que ello reviste para la promoción de las energías renovables en la República Dominicana, el Proyecto de Transición Energética decidió apoyar una vez más al OC contratando a energy & meteo systems para ofrecer un servicio de previsión de la generación de ERV durante un año como proyecto piloto.

energy & meteo systems (emsys) es líder del mercado en la oferta de soluciones globales para la integración eficiente de la energía solar y eólica. Con sus previsiones, cubre más de 250 GW de energía solar y eólica en Europa, EE.UU., India, Australia y América Latina.

A continuación, se presentan los objetivos y el alcance del proyecto, los primeros resultados y las recomendaciones basadas en las experiencias realizadas en los primeros seis meses del proyecto.

3.2 Objetivos del proyecto

Los principales objetivos del proyecto son:

- Evaluar un servicio centralizado de pronóstico para el período de un año con el fin de mejorar la exactitud de las previsiones de la energía eólica y solar en la República Dominicana.
- Analizar la necesidad de adaptar los requisitos a fin de mejorar la exactitud de las metodologías de predicción de la energía que se aplican actualmente en la República Dominicana.

Recopilar datos, información y experiencia nacional sobre la aplicación y el funcionamiento de un sistema centralizado de predicción para el OC.

3.3 Alcance del proyecto

Capacity Building:

El proyecto incluye dos capacitaciones (Capacity Building) para el personal del OC y los principales actores del sistema eléctrico.

La primera ya se llevó a cabo el 6 de febrero 2020. En ella se presentó una breve introducción al tema de pronósticos de generación eólica y solar y los resultados del primer mes de pronósticos.

12 Meses de pronósticos solares y eólicos:

El proyecto incluye 12 meses de pronósticos solares y eólicos de acuerdo al estado de la tecnología actual. Los pronósticos incluyen al menos los siguientes parques:

- 4 parques solares con una capacidad combinada de 187,3 MW
- 9 parques eólicos con una capacidad combinada de 370 MW

En caso de que más parques entren en operación durante el proyecto serán incluidos también en el servicio de pronósticos.

■ Pronóstico intradía:

- Unidad: MW
- Actualizaciones: horarias
- Resolución: 15 minutos
- Horizonte: 12 horas

■ Pronóstico día en adelante:

- Unidad: MW
- Actualizaciones: una al día según lo requerido por el OC
- Resolución: 15 minutos o según requerido por el OC
- Horizonte: 72 horas

■ Optimización:

- La precisión de los pronósticos será optimizada usando mediciones históricas y en vivo durante la operación el sistema.
- Los recortes de potencia y mantenimiento pueden ser consideradas en los pronósticos si esta información se hace llegar oportunamente a emsys en un formato electrónico acordado con OC.
- El servicio es acompañado de un soporte 24/7 y constante control de calidad.

■ Portal de clientes:

- El OC también tiene acceso a nuestro portal de clientes donde ellos pueden monitorear en línea la generación de los parques y los pronósticos.



4. Implementación y evaluación de resultados

4.1 Implementación del sistema de pronósticos

La preparación del sistema de pronósticos tuvo lugar en noviembre y diciembre de 2019. En este período OC proporcionó las especificaciones técnicas de los parques eólicos y solares, como las coordenadas, la potencia instalada, la altura del buje de las turbinas eólicas y la inclinación y orientación de los módulos fotovoltaicos.

El OC también proporcionó datos de medición de la generación histórica. Con estos datos se hizo un entrenamiento inicial de los modelos. Además, se realizó un mes de pruebas para comprobar si la transferencia de datos funciona correctamente y los formatos son los requeridos.

El método de transferencia de datos solicitado por OC fue sFTP. energy & meteo systems configuró en consecuencia un sFTP redundante para el OC de donde pueden recoger los pronósticos y entregar los datos de medición en vivo, así como la disponibilidad de las plantas.

Durante el primer mes de operación, enero de 2020, no fue posible para el OC proporcionar mediciones de generación solar.

4.2 Evaluación de pronóstico de generación eólica

A continuación, se presenta (en naranja) la evaluación de los pronósticos de energía eólica entregados al OC por energy & meteo systems durante los 12 meses del proyecto (enero a diciembre de 2020). Estos resultados se comparan con los pronósticos presentados por los agentes al OC en el mismo período (en azul) y los resultados de los pronósticos provistos por los agentes en el 2019.

La Figura 1 muestra el resultado de la evaluación en base al MAE de cada pronóstico del día en adelante.

Como se puede observar el pronóstico centralizado de emsys tuvo mejores resultados durante el año. En rojo se ve el MAE de los pronósticos de los agentes en el 2019. Este valor es solo indicativo, debido a que se debe a otro periodo de tiempo. Sin embargo, es un resultado importante ver la mejora de los pronósticos que los agentes entregaron al OC en el 2020 en comparación al 2019.

La Figura 2 muestra la evaluación de los pronósticos de generación eólica basados en el sesgo (bias). Como es posible observar la marcada tendencia a subpredecir (sesgo negativo) en los pronósticos de los agentes en el 2019 fue disminuida considerablemente para la mayoría de los parques con la excepción de Guanillo. Los pronósticos de emsys tiene un sesgo en promedio para el 2020 muy cercano a cero, para todos los parques menor a 5%.

La Figura 3 muestra la correlación de los pronósticos de emsys para el día siguiente, los pronósticos presentados por el agente y los pronósticos presentados por el agente en el 2019. Los pronósticos proporcionados por emsys al OC tienen una buena correlación, en la mayoría de los casos superior al 70% llegando a más del 80%. La correlación de las previsiones del agente es menor en la mayoría de los casos, pero ha mejorado en comparación con el año pasado.

Figura 1. MAE día en adelante para generación eólica

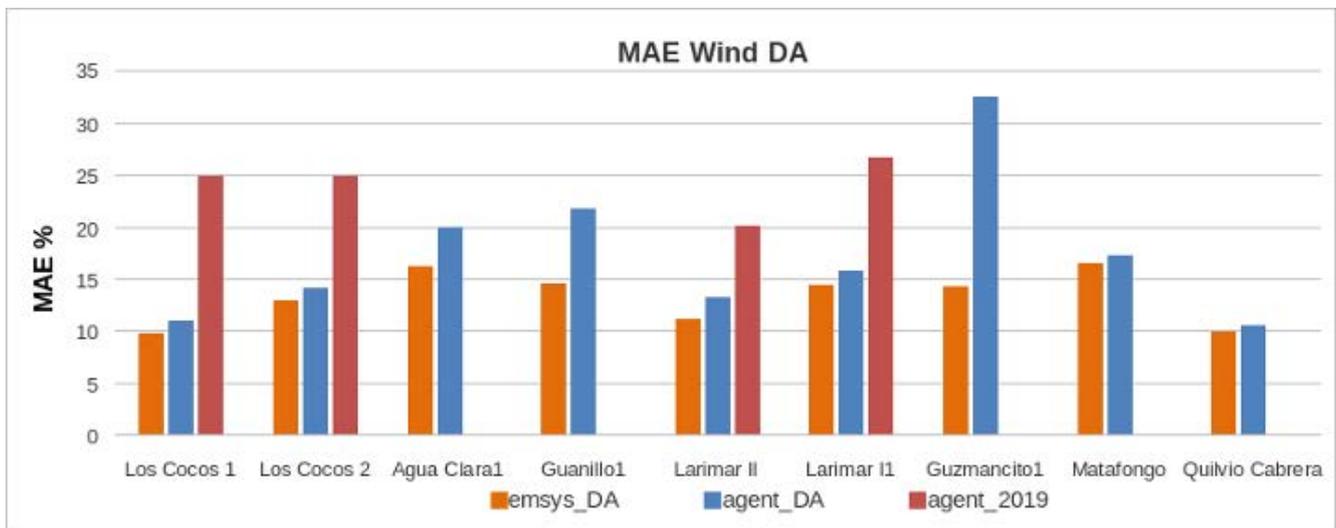


Figura 2. BIAS para los pronósticos del día en adelante de generación eólica

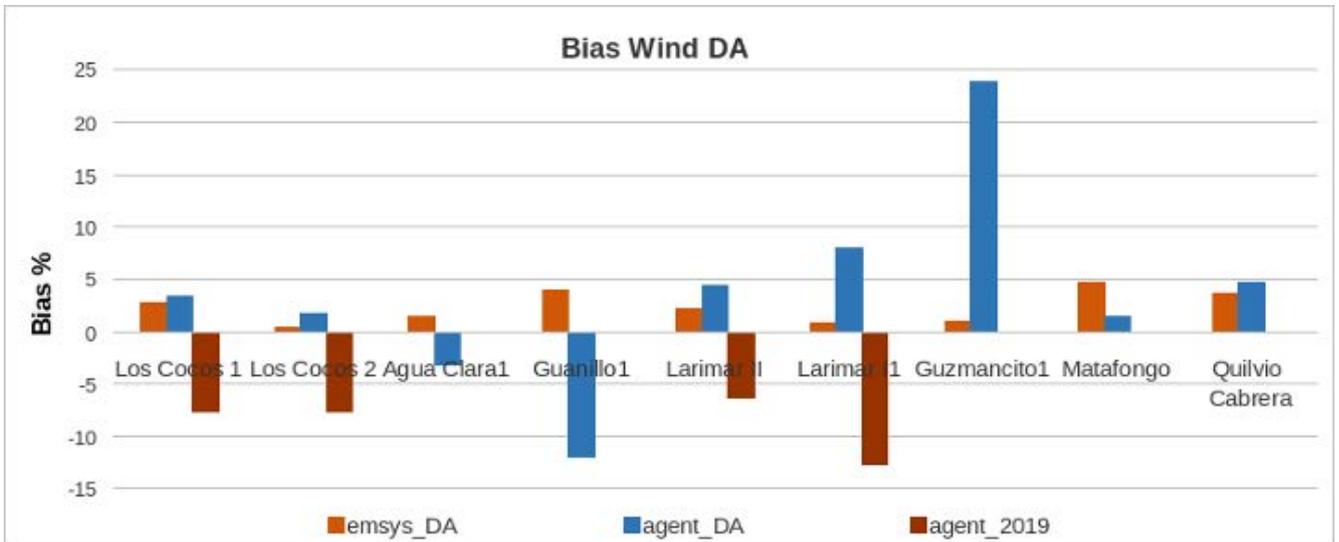
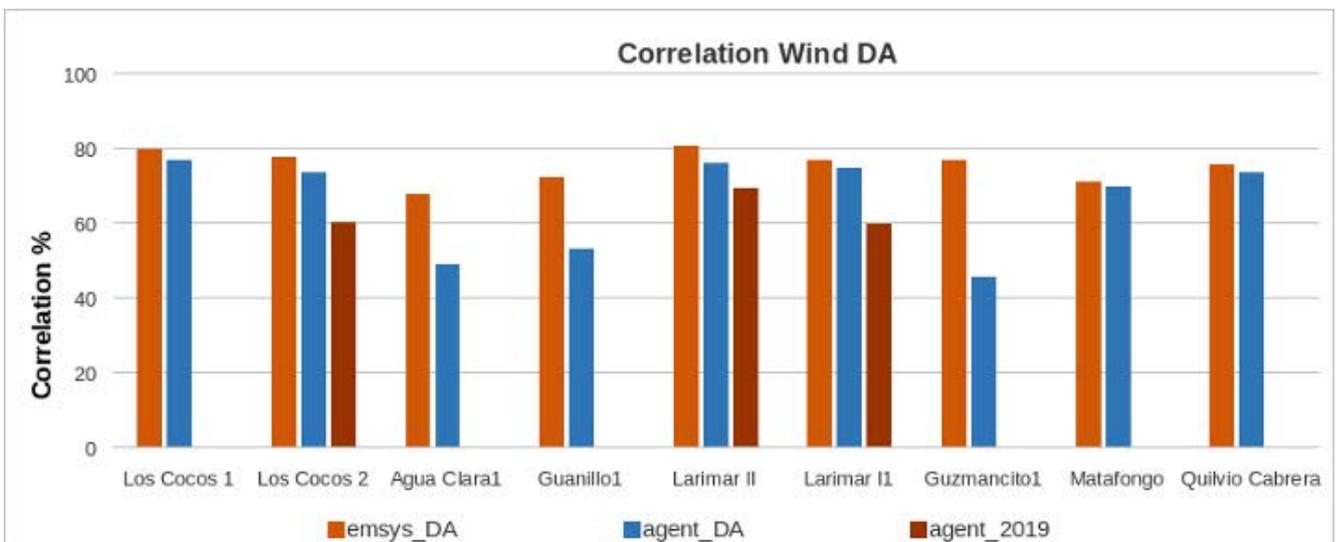


Figura 3. Correlación promedio para el día en adelante para generación eólica

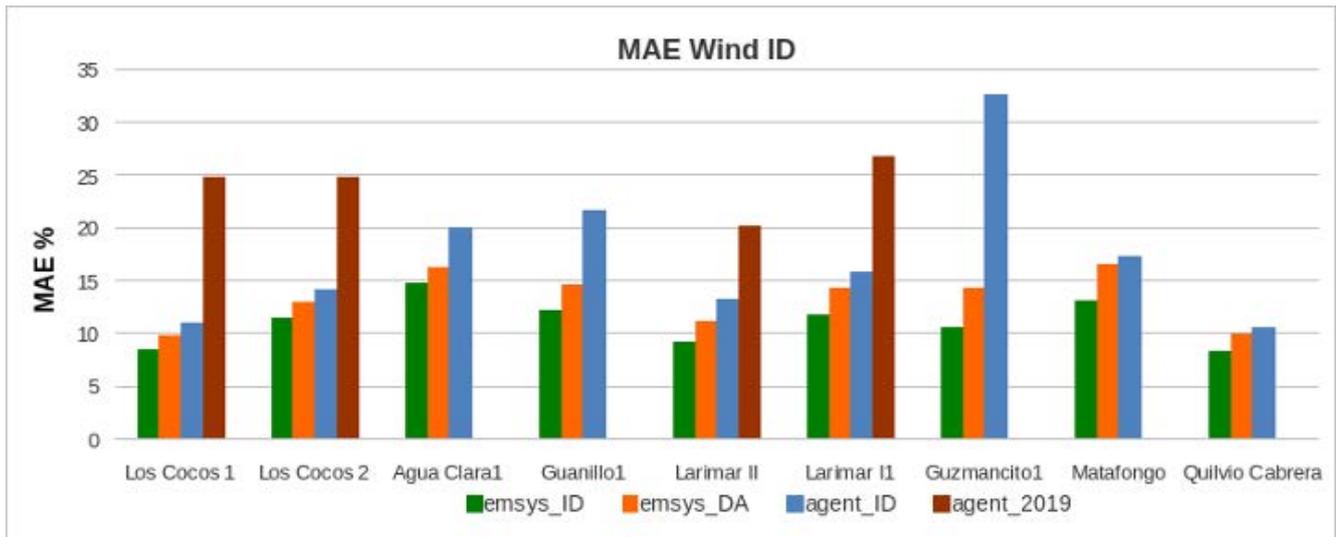


4.3 Evaluación de la generación eólica en el intradía

La Figura 4 muestra la evaluación del MAE para los pronósticos de energía eólica en el intradía, entendiéndose por intradía la hora 2 a 4 que comienza en el momento de generar el pronóstico. Por ejemplo, para los pronósticos generados a las 0:00 (P01), la evaluación consideraría de los periodos P03 al P05 (02:00 a 04:00 y a partir del pronóstico generado a la 01:00 consideraría los periodos P04 al P06 03:00 a 5:00. Esto de acuerdo a los tiempos que el OC tiene para reaccionar y modificar el despacho en el intradía.

El intradía muestra una mejora en los pronósticos del día siguiente para todos los parques. Dado que los agentes no presentan pronósticos de intradía, se comparan con los resultados del día siguiente. Aquí la diferencia en la precisión es más significativa.

Figura 4. MAE para pronósticos de generación eólica intradía



La Figura 5 muestra el sesgo de las previsiones intradiarias. Como puede observarse, las previsiones de emsys están muy cerca de cero, significando ningún sesgo para todos los parques. La previsión de los agentes permanece sin cambios en comparación con el día anterior.

Los pronósticos proporcionados por emsys tienen una mejor correlación también en el intradía, en este caso la correlación para todos los parques alcanza (con excepción de Agua Clara) el 80% como se ve en la Figura 6.

Figura 5. Bias para pronósticos de generación eólica intradía

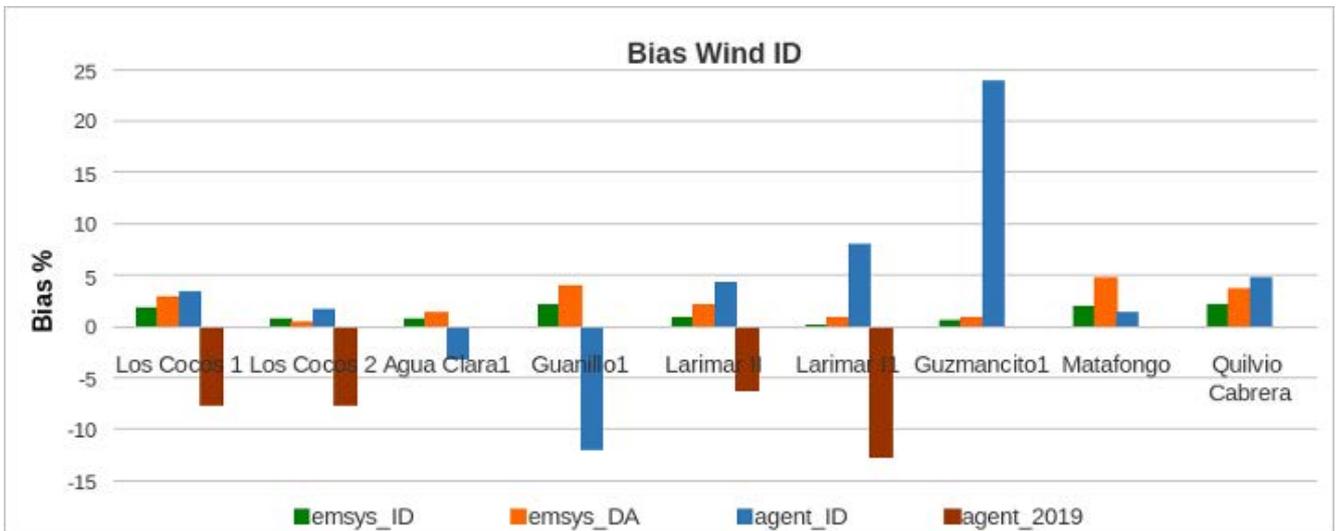
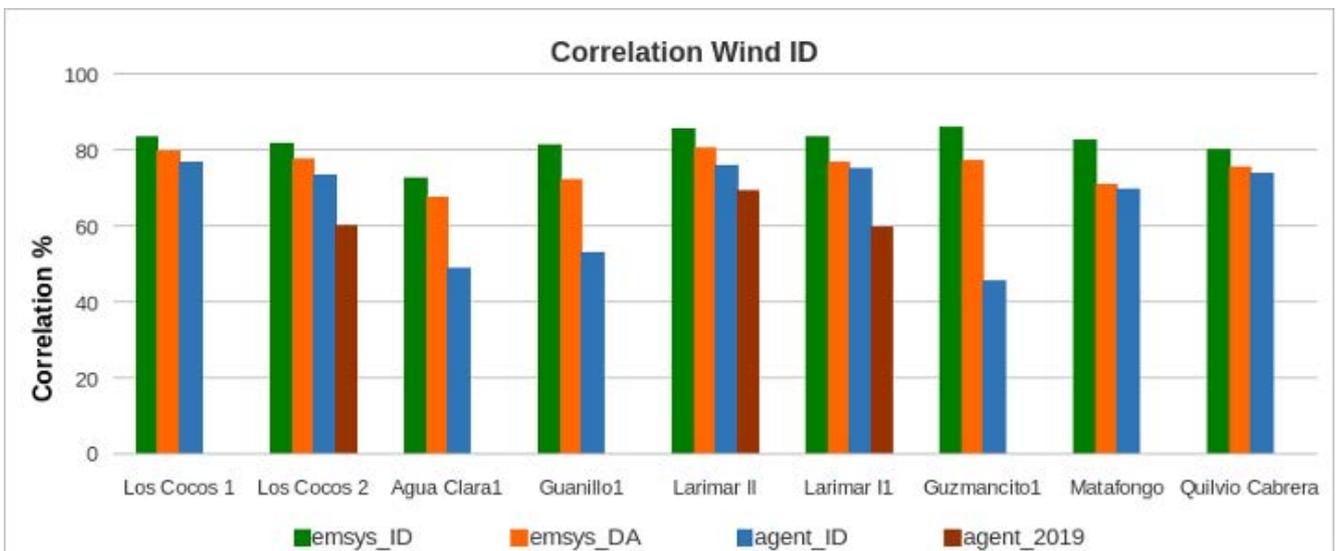


Figura 6. Correlación promedio para el intradía en adelante para todos los parques eólicos



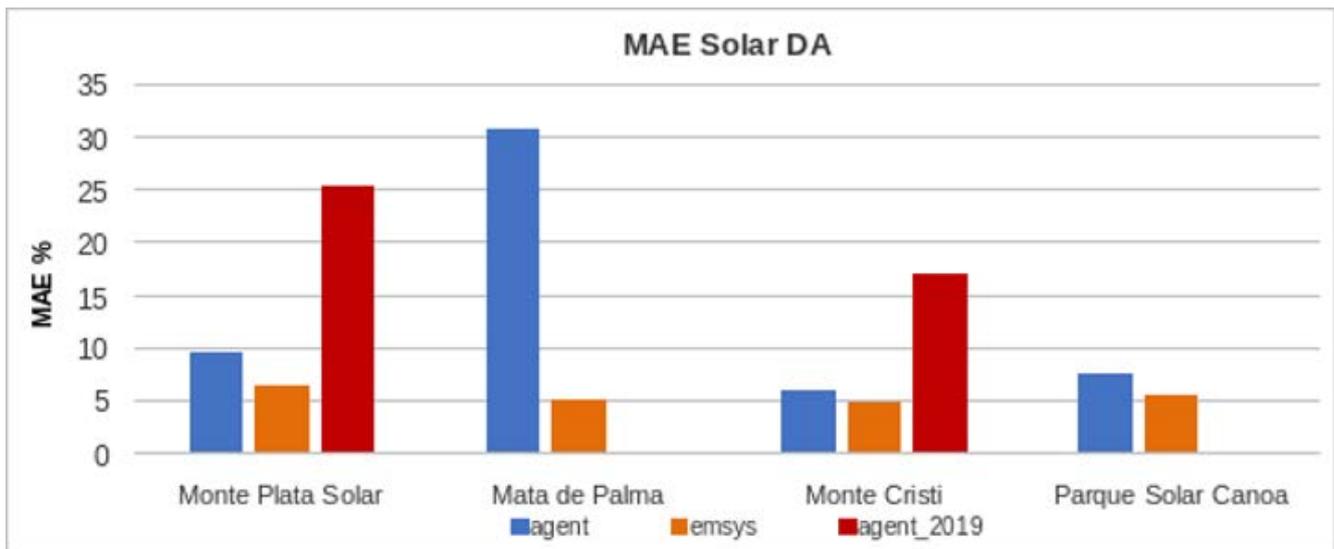
4.4 Evaluación del pronóstico de generación solar del día en adelante

La Figura 7 muestra la evaluación del MAE para los pronósticos de energía solar del día siguiente.

Al igual que en el capítulo anterior, en naranja el pronóstico presentado por emsys durante los primeros 12 meses del proyecto (enero - diciembre 2020), en azul los pronósticos presentados por el agente para el mismo período y en rojo como referencia de comparación la evaluación de los pronósticos proporcionados por los agentes en 2019.

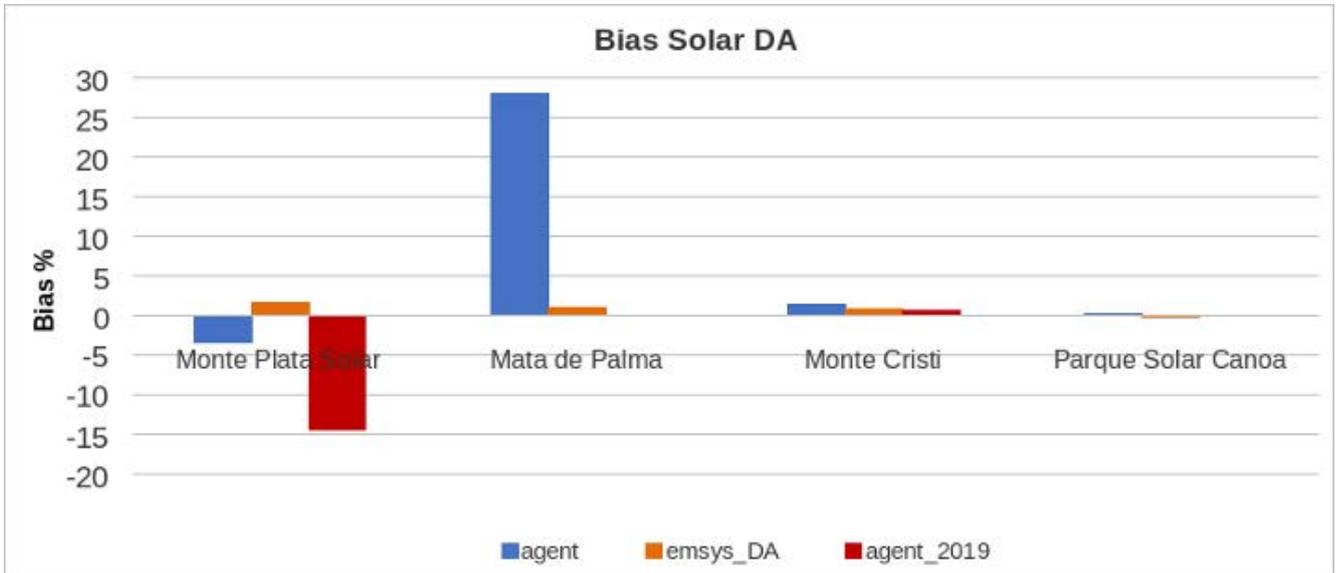
Como se puede observar, los parques solares Monte Plata Solar y Monte Cristi, para los que se disponía de una evaluación previa, han mejorado considerablemente sus pronósticos. Los pronósticos para el resto de los parques, con la excepción de Mata de Palma, también tienen una mayor precisión que los pronósticos proporcionados en 2019. La precisión de los pronósticos de Monte Cristi es bastante comparable a la de emsys. No había datos disponibles en enero para la evaluación.

Figura 7. MAE para pronósticos de generación solar día en adelante



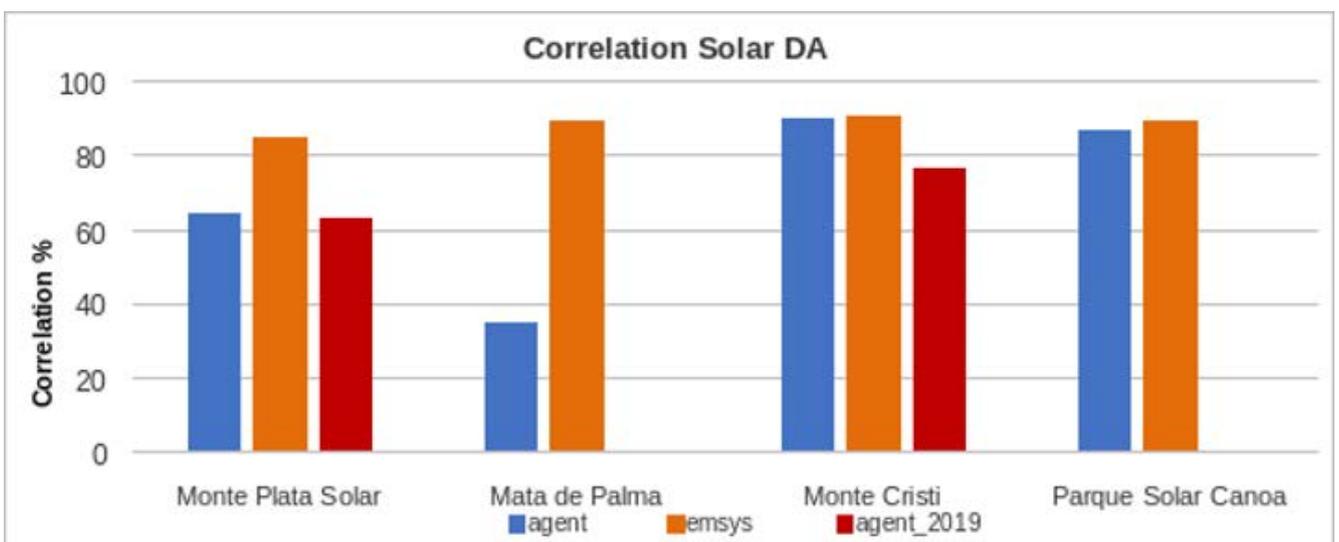
El análisis del sesgo de la Figura 8 muestra que se ha corregido la tendencia a la subestimación que presentaba Monte Planta Solar en 2019 por parte del pronóstico del agente. El sesgo para todos los parques es también bastante similar, excepto para Mata de Palma. El sesgo del pronóstico de emsys es similar para todos los parques, pudiendo asegurar una alta calidad para todos los sitios.

Figura 8. Bias para pronósticos de generación solar día en adelante



El análisis de correlación muestra en la Figura 9. La correlación de las previsiones presentadas por emsys alcanza para todos los parques un valor mínimo del 80 %. La correlación de los pronósticos de Parque Solar Canoa y Monte Cristi son comparables a la de emsys.

Figura 9. Correlación para los pronósticos de generación solar en el día en adelante



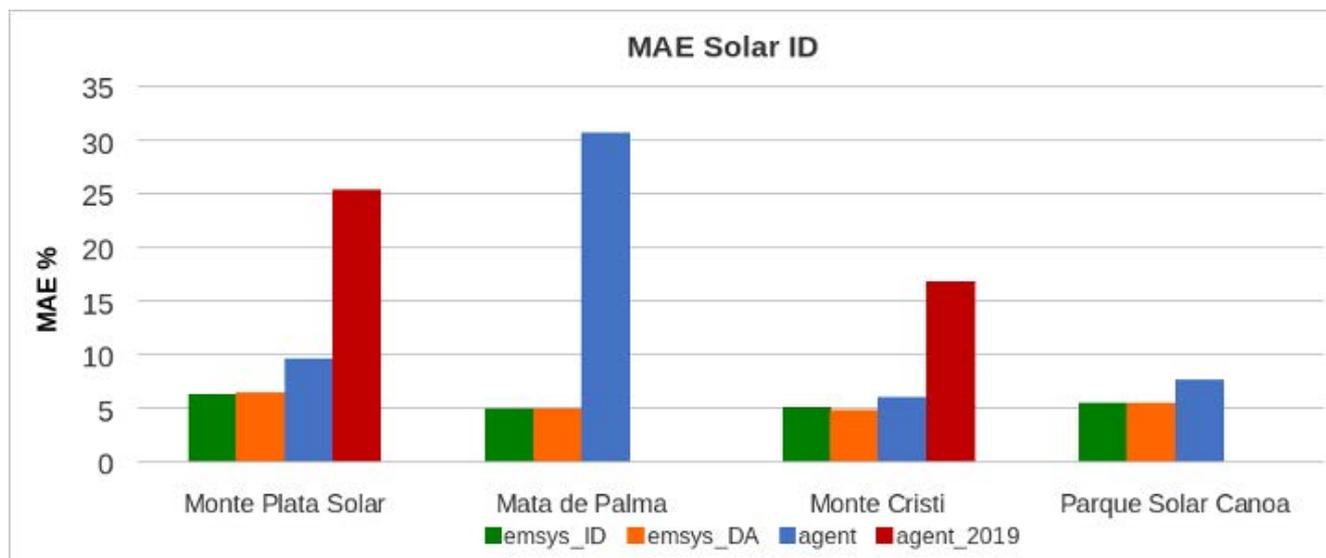
4.5 Evaluación del pronóstico solar intradía

A continuación, se muestra un análisis de los pronósticos intradía, siendo intradía la segunda a cuarta hora del horizonte a partir del momento en que se genera el pronóstico. Aquí es posible ver que se alcanza una mejora adicional al hacer un pronóstico intradía.

La corrección intradía se hace en base a las últimas mediciones, para poder llevarla a cabo las mediciones tienen que tener una alta disponibilidad y las no disponibilidades del parque no pueden tener valores falsos o el pronóstico seguirá esta información.

En la Figura 10 se muestra la comparación entre el pronóstico intradía de emsys de la generación solar y el pronóstico para el día siguiente de los agentes, ya que no presentan una previsión para el intradía. El pronóstico intradía de emsys muestra una calidad comparable al día en adelante. Esto se debe a que las mediciones de generación solar no tuvieron la disponibilidad necesaria en algunos periodos durante el proyecto, por ejemplo la evaluación del mes de abril no es representativa debido a que en este mes hicieron falta cerca de un 80% mediciones. Por lo tanto, hasta ahora no se han podido aprovechar todas las ventajas de las actualizaciones de las previsiones intradía.

Figura 10. MAE para la generación solar intradía



El bias (sesgo) en el intradía, mostrado en la Figura 11, también buenos resultados, siendo estos muy cercanos a cero.

Los valores de correlación muestran en la Figura 12 una muy buena correlación de los pronósticos de emsys en el intradía y una precisión incrementada en comparación con el día siguiente.

Figura 11. Bias del pronóstico de la generación solar intradía

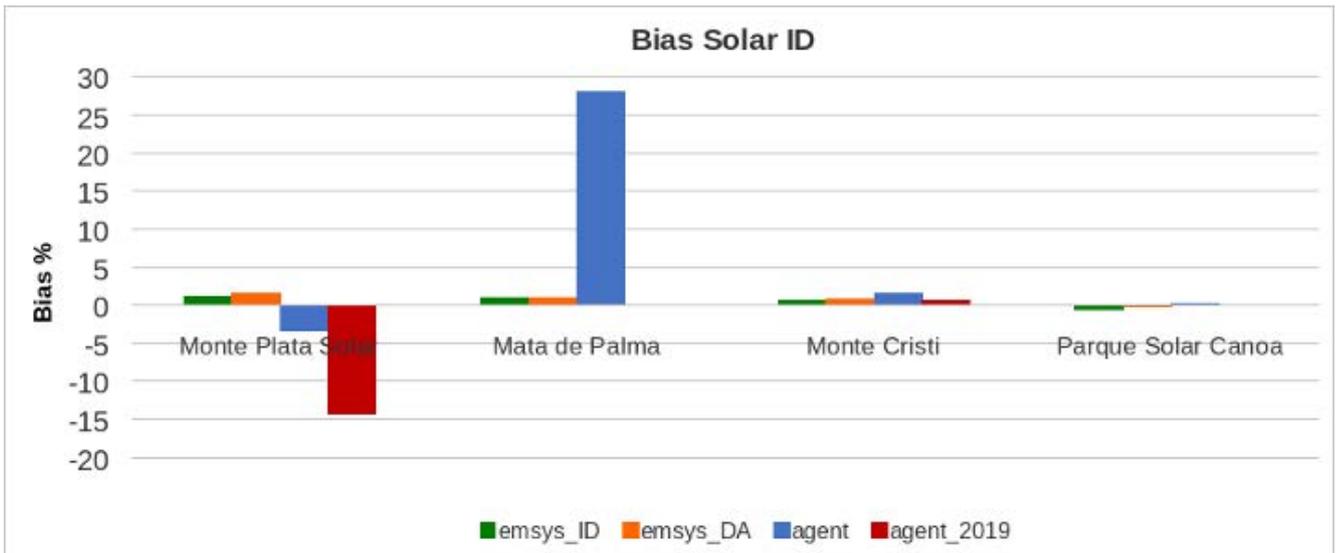
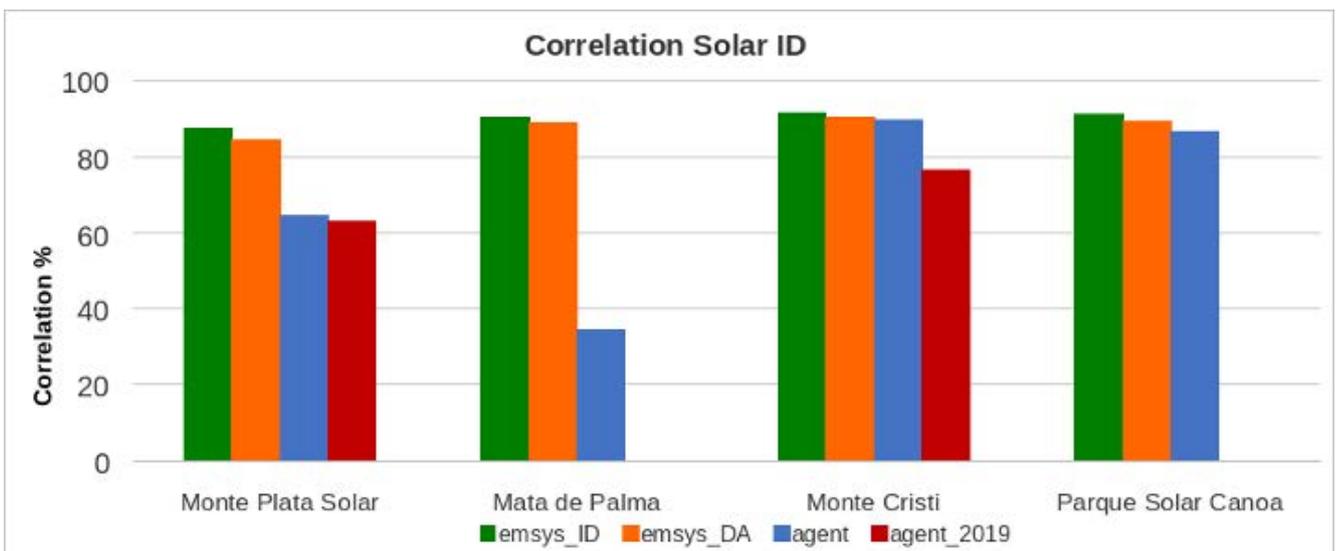


Figura 12. Correlación de los pronósticos en el intradía de generación solar



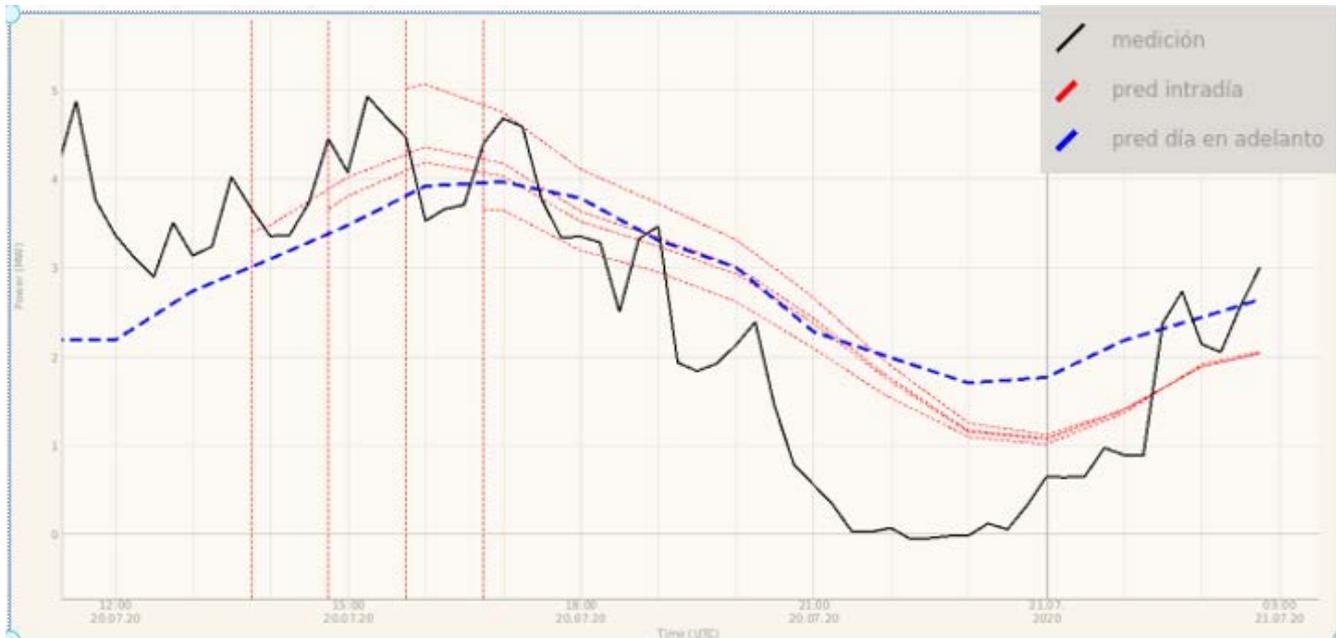
4.6 Eventos de la red durante el piloto

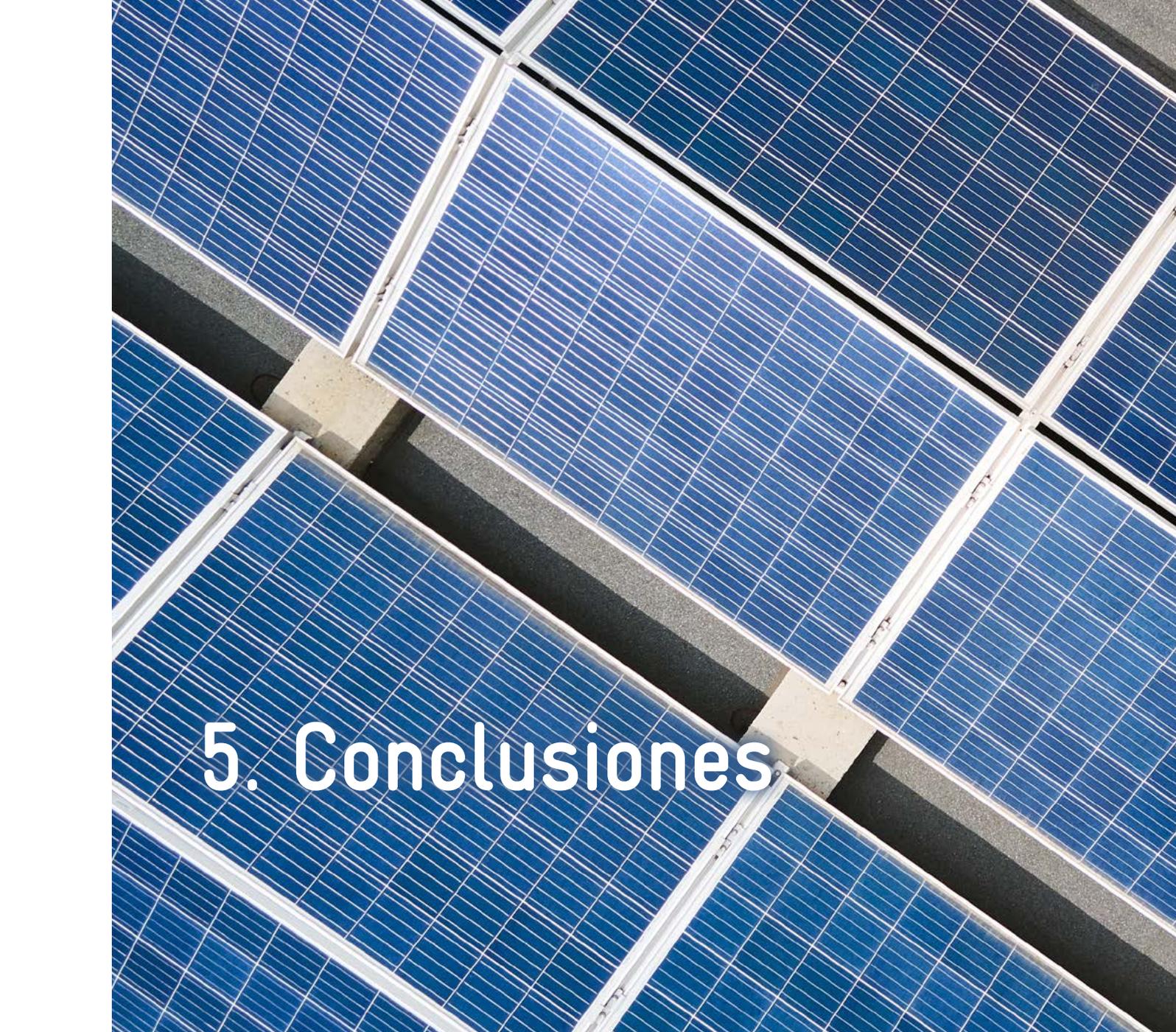
1. Se reportaron algunos eventos donde la frecuencia del sistema fue afectada debido a rampas rápidas de generación eólica. De las cuales acontecieron en los días siguientes: 16/02/2020 16:29 UTC-4, donde se registraron rampas en la generación eólica para el parque Juancho Los Cocos (Quilvio Cabrera, Larimar I, Larimar II, Los Cocos I, Los Cocos II) de 124 MW a 95 MW.
2. 13/04/2020 14:15 UTC-4 donde se registraron rampas en la generación eólica para el parque Juancho Los Cocos (Quilvio Cabrera, Larimar I, Larimar II, Los Cocos I, Los Cocos II) de 103 MW a 36 MW
3. Y otro evento el 20/07/2020 donde una rampa fue registrada para todos los parques.

Las rampas de viento de esta magnitud no son eventos aislados en la República Dominicana, tales rampas se encuentran en la generación en la República Dominicana cada par de días. Estos eventos en la red tienen que ser analizados en combinación con todo el contexto y lo que estaba sucediendo en la planificación de la red y el despacho.

Para simplificar, tomamos como ejemplo el evento del 20 de julio de 2020 a las 16:00 hora local y un parque eólico. En la Figura 16, la línea negra es la medición, la línea punteada azul es el pronóstico del día siguiente (generado el 19 de julio) y las líneas rojas son las actualizaciones horarias realizadas en el intradía. Desde la perspectiva del pronóstico, estos eventos fueron bien cubiertos en el día siguiente y en el intradía.

Figura 16. Ejemplo de rampa en la generación eólica el 20 de julio 2020 a las 16:00. Evento en la red reportado. Negro: Mediciones, Azul: pronóstico día en adelante, Rojo: Actualizaciones intradiarias





5. Conclusiones

5.1 Conclusiones de la evaluación

A continuación, se presentan las conclusiones de la evaluación acompañadas de información sobre las experiencias que han influido en esos resultados hasta la fecha.

■ *Alta precisión para todos los parques (comparable)*

De la evaluación se hace evidente que el pronóstico centralizado tiene una alta calidad para todos los parques. Se espera que no todos los parques tengan exactamente la misma calidad porque pueden estar situados en un lugar diferente con condiciones

meteorológicas diferentes o debido a la disponibilidad de las mediciones. Disponer de una previsión centralizada permite al OC confiar en una calidad homogénea para todos los parques, ya que las previsiones se generan y se comprueba su calidad de forma consistente. Por otra parte, las previsiones de los agentes tienen un origen distinto, con diferentes proveedores o de elaboración propia, lo que da lugar a variaciones significativas de la calidad entre los parques. Además, la transferencia de datos de todos los agentes tiene que ser muy robusta, por lo que los pronósticos pueden estar llegando tarde al OC o con información incompleta, o con valores que no corresponden realmente a un pronóstico.

■ *Optimización de los modelos*

La disponibilidad de los datos de medición es muy importante para el entrenamiento del modelo. Como se ha visto en el pronóstico solar para casi todos los parques, la precisión en enero fue peor que en los otros meses debido a la falta de mediciones. Además, los pronósticos intradía se podrían mejorar si no existieran fallas frecuentes en la transferencia de las mediciones para los parques solares.

■ *Corrección a corto plazo*

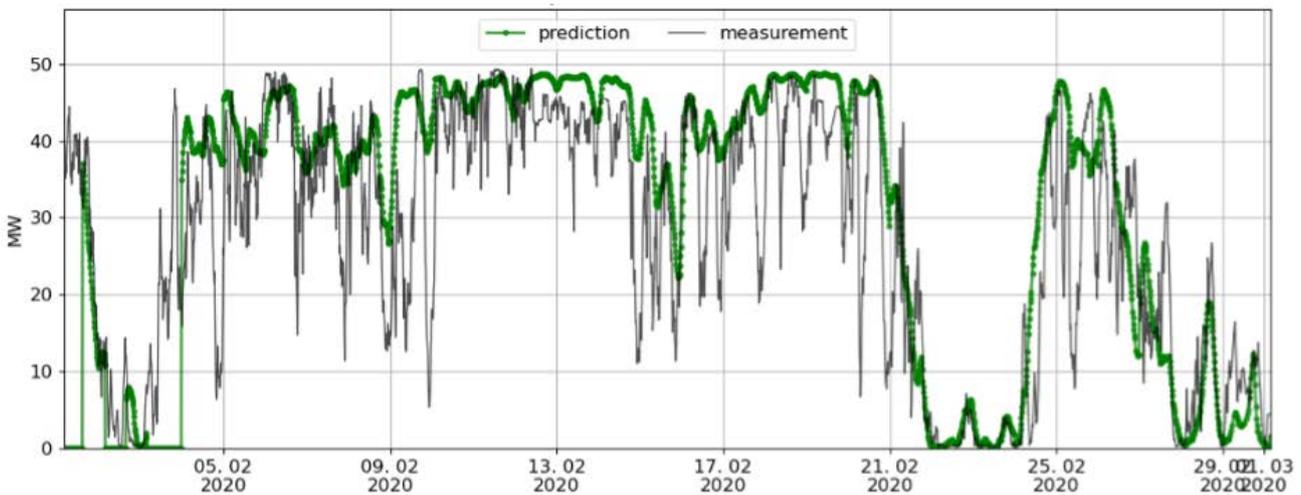
La corrección a corto plazo desempeña un papel importante para lograr una mayor precisión, de la evaluación se hace evidente que los pronósticos intradía tienen una mejor calidad que el día anterior. Este proceso requiere una alta disponibilidad en las mediciones y actualizaciones muy frecuentes. Aquí ha habido algunas dificultades en el funcionamiento del sistema, ya que de forma frecuente hay una interrupción en la transferencia de las mediciones proporcionadas por el OC o tienen valores defec-

tuosos que luego se alimentan en la corrección a corto plazo. Por lo tanto, las previsiones intradía todavía tienen potencial para mejorar con mediciones fiables y actualizaciones frecuentes.

■ *Incluir la disponibilidad de las plantas*

Incluir la disponibilidad del parque hasta ahora ha sido un reto, ya que al principio no estaba tan claro para los agentes lo que significaba la disponibilidad, un problema que ha sido resuelto por el OC. Además, es un reto porque las disponibilidades suelen reportar valores iguales a cero que no ocurren como se muestra en la Figura 13 y, por lo tanto, cuando se toman en cuenta para la previsión, conducen a un gran error. Estos valores que se reportan igual a cero vienen, según el OC, de la aplicación que se utiliza para enviar los datos, que al no tener datos escribe el valor de cero. El OC está trabajando en corregir esto de modo que se deje en blanco en caso de que hagan falta datos. Por lo tanto, todavía hay potencial de mejora en cuanto a la utilización de información más fiable sobre la disponibilidad de las centrales.

Figura 13. Ejemplo de disponibilidades con valores de cero en la primera semana de febrero 2020



■ *Menores errores sistemáticos*

Los errores sistemáticos de los pronósticos de los agentes con tendencia a la subestimación, que se observa en la evaluación realizada en 2019 se han reducido considerablemente en el período de esta evaluación. No obstante, hay una diferencia significativa en el sesgo que muestran los diferentes pronósticos enviados por los agentes. El sistema centralizado de previsión de emsys muestra valores de sesgo muy cercanos a cero para todos los parques, por lo que no muestra casi ningún error sistemático para todos los parques.

■ *Posibilidad de comparación*

El sistema centralizado de pronósticos proporciona al OC una referencia neutral para la comparación. Sin tener otra fuente de pronósticos es bastante difícil decir si un parque tiene peor precisión que los otros debido a su ubicación, condiciones meteorológicas u otras razones. Con el pronóstico centralizado el OC puede observar qué pronósticos son comparables y cuáles tienen todavía potencial de mejora.

■ *Segunda fuente de información*

El pronóstico centralizado proporciona al OC implícitamente un respaldo en caso de que los pronósticos de los agentes lleguen tarde o sean defectuosos, lo que también se ha observado en algunos casos.

■ *Información en el intradía*

La corrección intradía proporciona una mejor calidad en el día siguiente. Para ello es muy importante tener actualizaciones frecuentes y fiables de las mediciones. El OC también debe ser capaz de reaccionar en el intradía a los cambios en los pronósticos en comparación con el día siguiente. Hasta ahora, los agentes no están aprovechando esta oportunidad para hacer adaptaciones al pronóstico del día siguiente.

5.2 Desafíos meteorológicos en los pronósticos

■ *Sea-breeze (brisa marina)*

La brisa marina, es decir, el cambio de dirección del viento durante el día, a lo largo de la costa de la República Dominicana representa un desafío para la previsión. Este fenómeno es bien conocido, pero sigue siendo difícil de predecir por los diferentes modelos meteorológicos.

En la Figura 14 se muestra la generación de un parque eólico en la República Dominicana en enero de 2020. La línea negra es la generación medida, las líneas finas coloreadas indican los diferentes modelos meteorológicos y la línea gruesa roja es la combinación de los modelos meteorológicos. Como se ha observado, el modelo verde era el único que cubría este evento bastante bien, pero no se recomienda dar todo el peso a un modelo, esto sería muy riesgoso ya que para otros eventos podría no ser el mejor modelo.

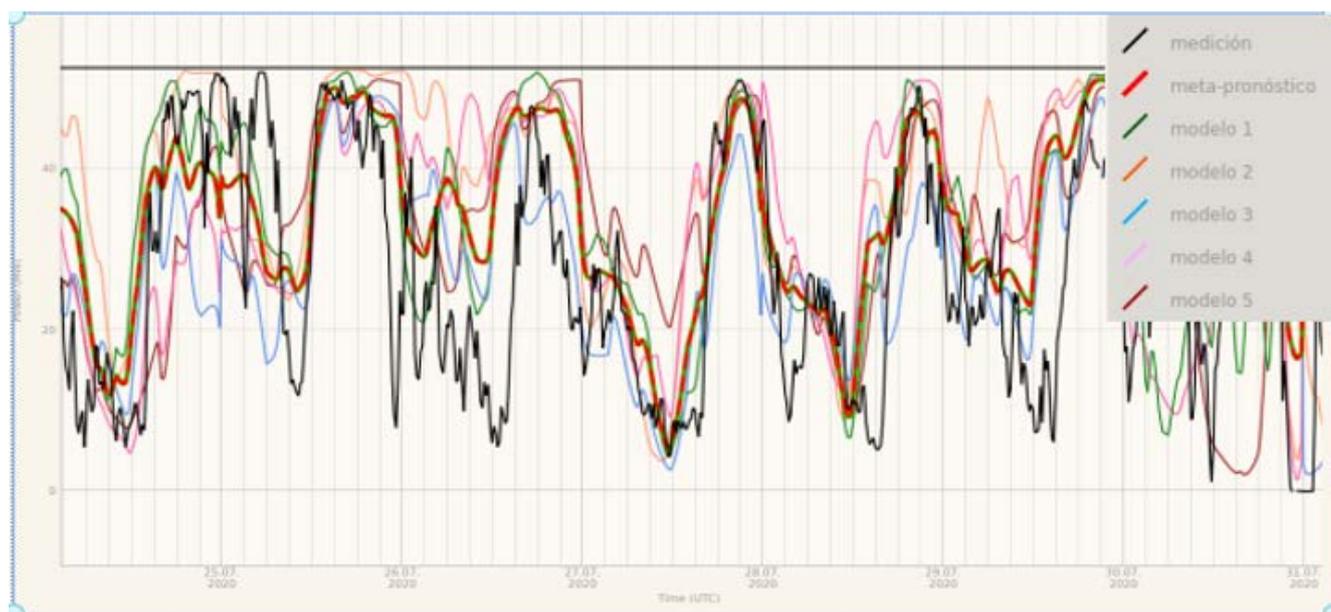
Figura 14: Brisa Marina en enero en la República Dominicana. Negro: medición. Rojo: pronóstico combinado. Otros colores: modelos individuales



La Figura 15 muestra el mismo ejemplo para julio de 2020. Evaluar la evolución de la precisión de los pronósticos es algo complicado ya que las condiciones meteorológicas en julio comparadas con las de enero eran diferentes. Sin embargo, los

patrones diarios de la brisa marina se siguen observando en julio y la precisión del pronóstico ha mejorado considerablemente con el entrenamiento de los modelos realizados en los últimos seis meses.

Figura 15. Brisa Marina en julio en la República Dominicana. Negro: medición. Rojo: pronóstico combinado. Otros colores: modelos individuales





6. Recomendaciones y lecciones aprendidas

6.1 Recomendaciones generales para mejorar los pronósticos

■ *Transferencia de datos robusta*

Los pronósticos necesitan la retroalimentación de las mediciones para mejorar los modelos y hacer correcciones a corto plazo en el intradía. Durante los 12 meses del proyecto este ha sido un tema tratado por el OC y el cual ha puesto esfuerzo en proporcionar estos datos. Sin embargo, de vez en cuando se producen interrupciones en la transferencia de datos.

■ *Mediciones y declaraciones de la disponibilidad de los parques confiables*

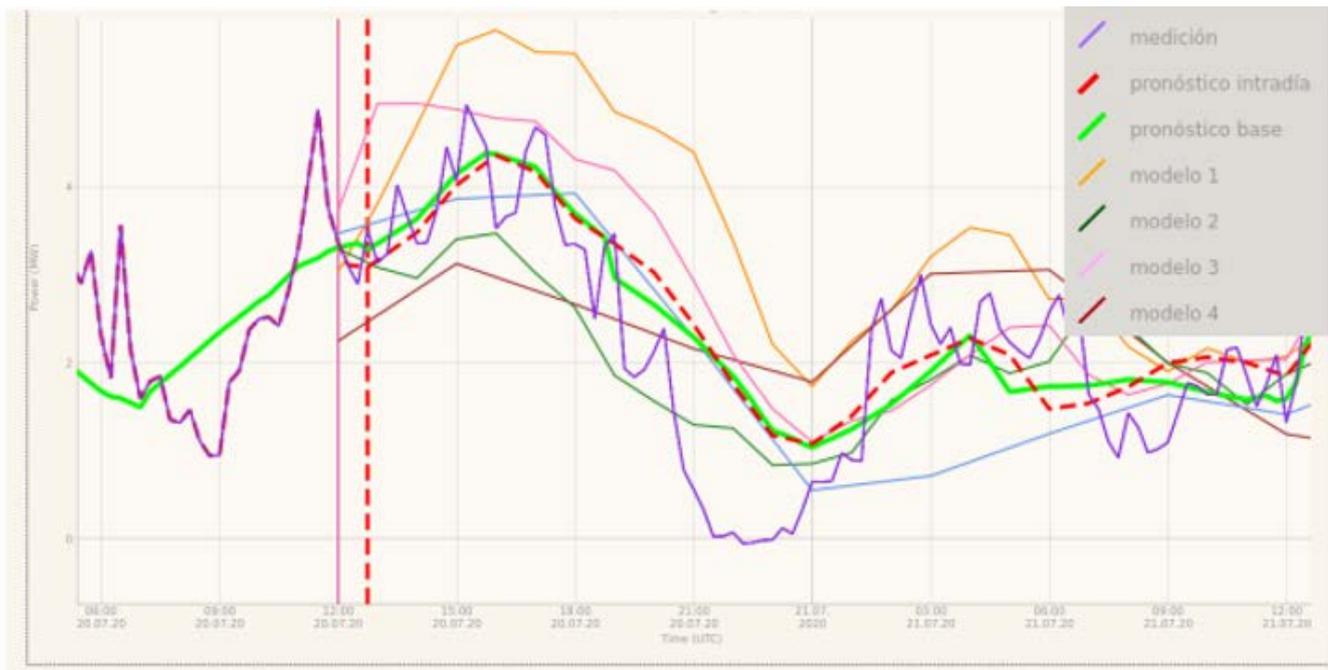
Las mediciones tienen que ser fiables para proporcionar una retroalimentación adecuada a los pronósticos. Las mediciones o no disponibilidades con valor constante cero han sido defectuosas en algunas ocasiones. La fiabilidad de los buenos datos de las mediciones es extremadamente importante para la calidad de los pronósticos, por lo que tanto el OC como los Agentes deben trabajar juntos para poder asegurar esto.

■ Usar un meta-pronóstico

La combinación de diferentes pronósticos con una precisión equivalente proporciona mejores resultados que los pronósticos individuales. Esto es mejor cuando la precisión del agente es comparable a la del pronóstico centralizado o de la segunda fuente de pronóstico, de lo contrario el pronóstico del agente simplemente obtendrá un peso de cero en la combinación. Cuando se dispone de diferentes fuentes de pronósticos con una precisión comparable es muy difícil decidir cuál utilizar, que un pronóstico fue mejor ayer no dice nada sobre los días siguientes. Tener un pronóstico que sea la combinación de varias fuentes que proporcione el mejor resultado, también simplifica el proce-

so de toma de decisiones, ya que no es necesario elegir entre las diferentes fuentes. En la Figura 17 se muestra un ejemplo de uno de los parques de la República Dominicana. La línea púrpura es la medida y las líneas de diferentes colores son el resultado de diferentes modelos, la línea punteada verde y roja muestran la combinación de estos modelos. Se puede observar que la combinación proporcionó los mejores resultados en general. En este caso, esta es la combinación realizada por emsys para proporcionar la mejor previsión de los diferentes modelos. Una combinación ponderada similar se puede hacer con múltiples fuentes de pronósticos, en el presente caso del OC, los pronósticos proporcionados por los agentes y una previsión centralizada se pueden combinar para obtener mejores resultados.

Figura 17. Ejemplo de la combinación de varios modelos de pronósticos – meta pronóstico. Lila: medición, Rojo: pronóstico intradía, Verde: Pronóstico combinado base. Otros colores: pronósticos de modelos individuales



6.2 Recomendaciones generales con enfoque en la operación de la red

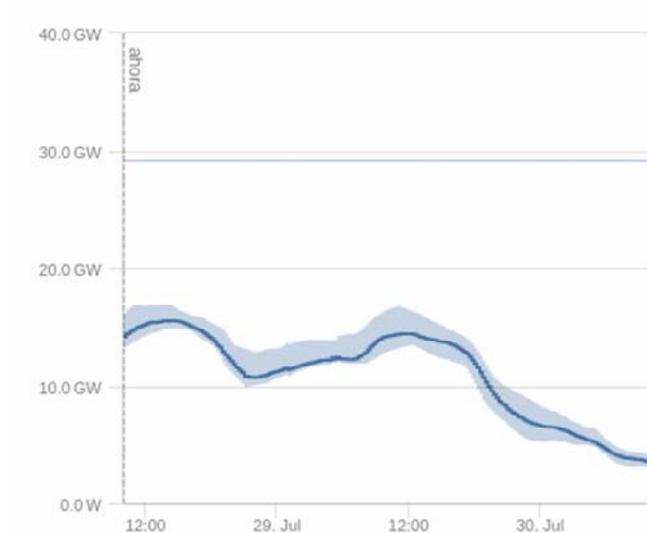
■ *Reacción en el intradía*

Los datos de las mediciones tienen que ser fiables y actualizados con gran frecuencia para que sea posible una corrección a corto plazo. Pero también, con una mayor proporción de energía renovable los procesos de operación la red y mercado deberían moverse más hacia el intradía para beneficiarse de más precisión en los pronósticos.

■ *Spread*

La dispersión puede proporcionar un valor mínimo y máximo, como se ve en la Figura 18, lo que da información adicional sobre la incertidumbre de la situación. Si los diferentes modelos meteorológicos proporcionan una estimación diferente, la situación podría ser muy incierta y el OC puede tomar las precauciones adecuadas.

Figura 18. Ejemplo de spread de un pronóstico eólico



■ *Pronóstico de rampas*

Se proporcionará un pronóstico de rampa probabilística al OC, OC que le permita prepararse cuando se esperan grandes rampas o cuando la extensión del spread de la rampa es amplia, lo que indica que la situación con respecto a la rampa no es muy segura.

La Figura 19 muestra el gradiente de la generación prevista (potencia relativa/hora), la línea roja es la combinación de los diferentes modelos que se muestran en la Figura 20 y la dispersión que muestra el valor mínimo y máximo de los diferentes escenarios. Aquí puede verse por ejemplo ya en el día siguiente que el 06/04/2017 a las 00:00 se espera una gran rampa con una situación incierta. Con esta información es posible preparar más capacidad de reserva o ser capaz de reaccionar más rápido en este momento.

Figura 19. Pronóstico de rampa con spread. La línea roja es la combinación resultante de varios modelos y el área gris tiene como límites el mínimo y máximo del spread del pronóstico

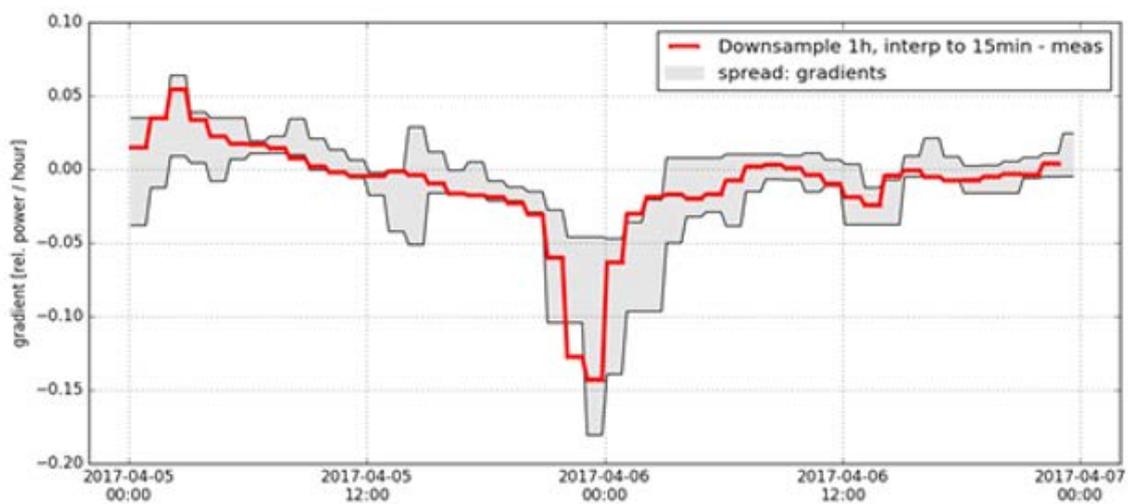
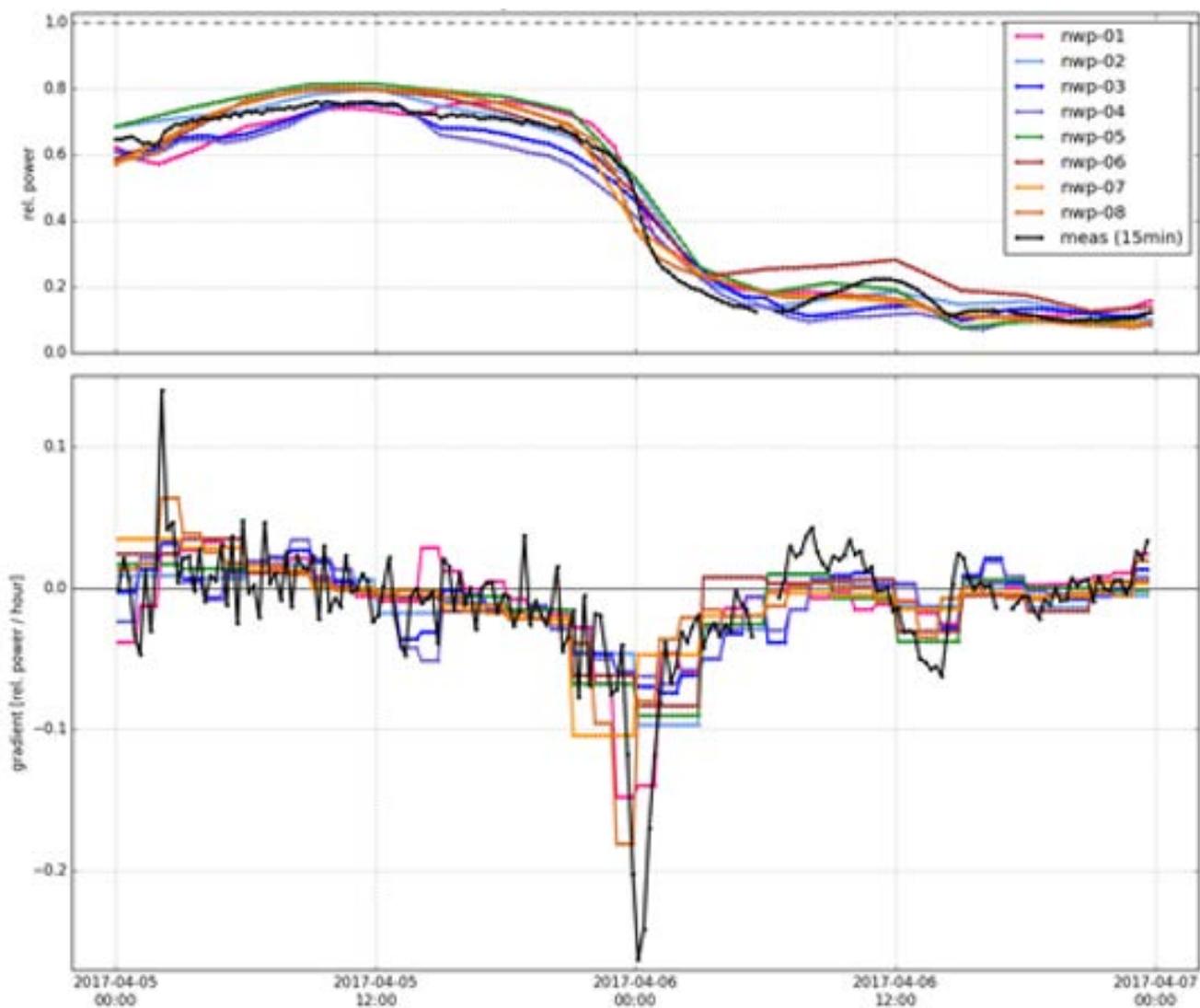


Figura 20. Descomposición del spread del pronóstico de rampas. Los diferentes colores son los pronósticos de rampas de modelos individuales y la línea negra la combinación de los diferentes modelos



■ Vertical Grid Load

Para abordar la generación intermitente de la energía solar y eólica en la red, el siguiente paso es no sólo observar la generación individual de cada parque, sino agregarla al nivel de nodo de la red, que puede ser una subestación, un transformador o un área de la red, como se muestra en la Figura 21. Esto permite analizar el impacto de la generación agregada en un nodo específico de

la red y dar un paso más en la predicción de la generación de energía eólica y solar en combinación con otras variables como la demanda. La combinación de todas estas variables permite predecir el flujo de energía en un nodo de la red. Cuando se observa el flujo en un nodo de la red entre dos niveles tensión, a esto se llama carga de la red vertical. En la Figura 22 se muestra una descomposición de la carga de la red vertical.

Figura 21. Ejemplo de pronósticos agregados a nivel de nodos de la red.

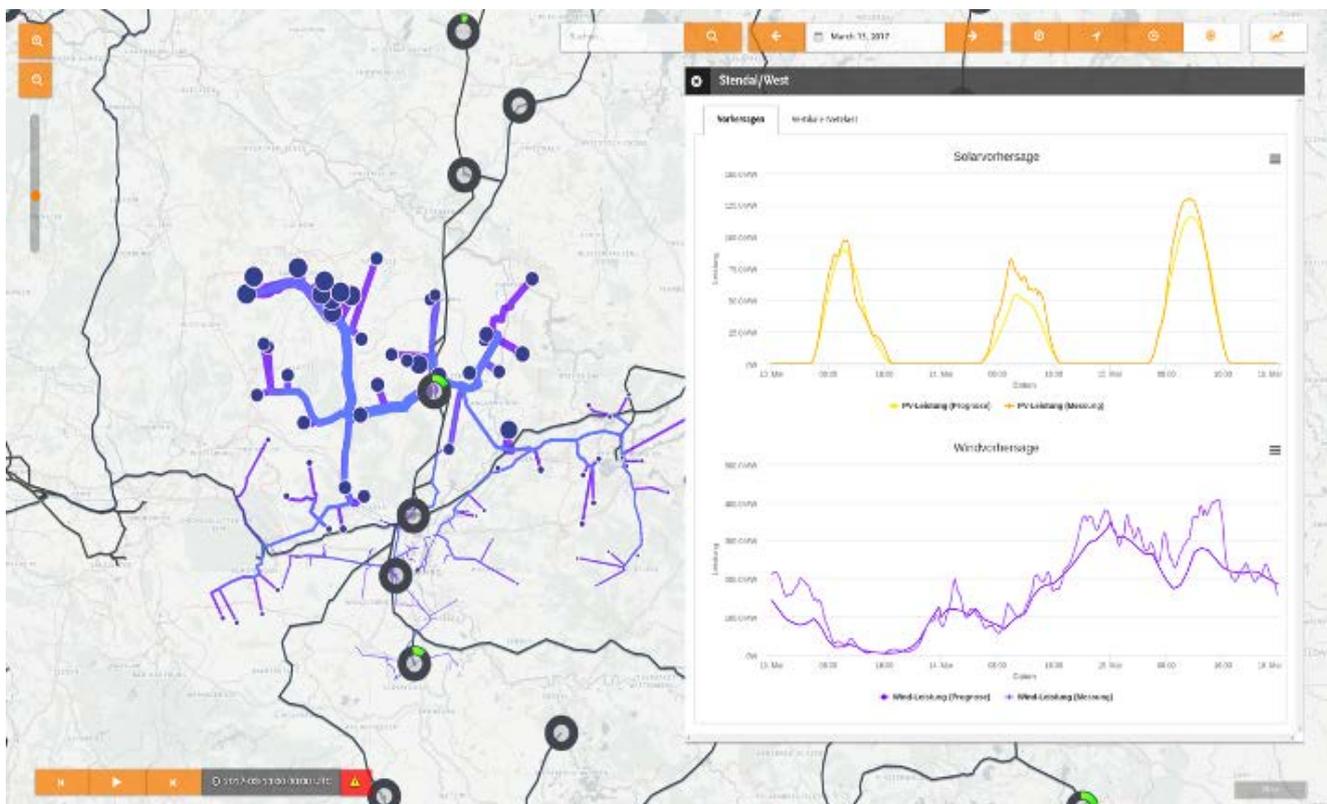
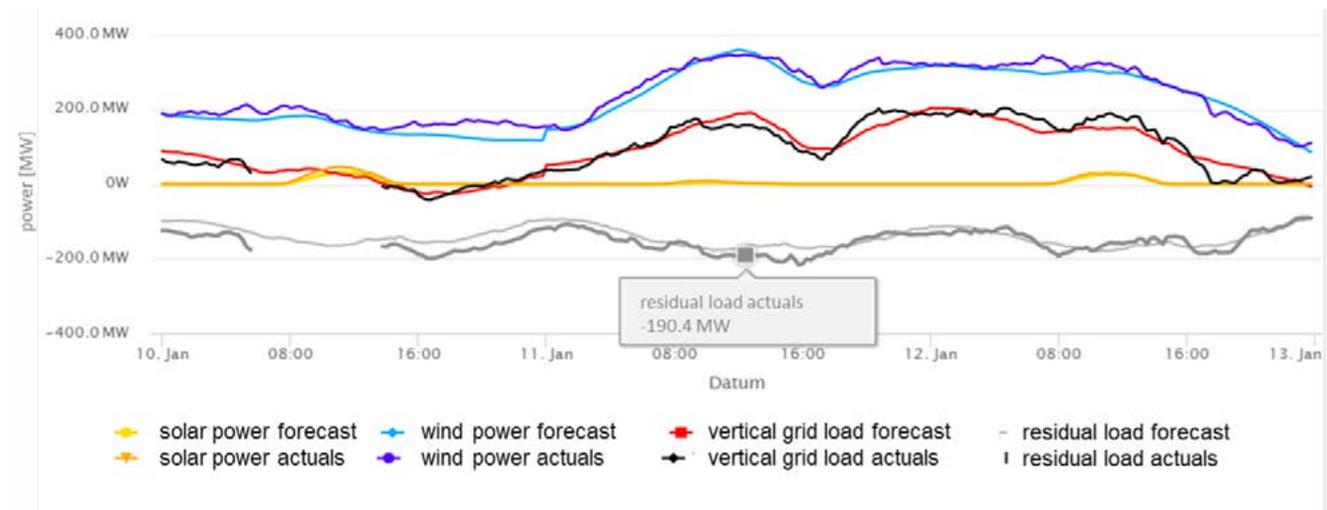
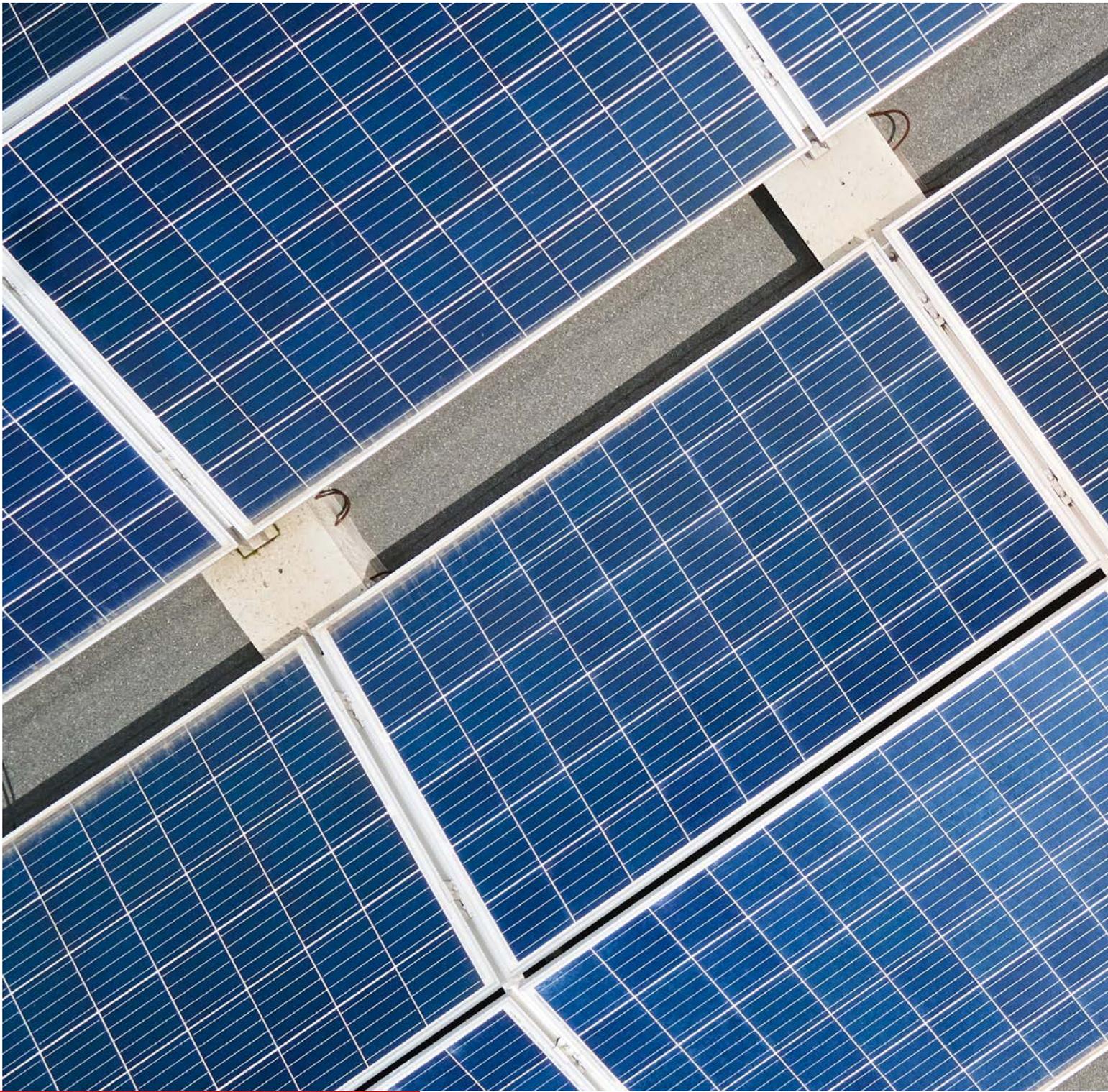


Figura 22. Descomposición de los componentes de la carga vertical de la red (flujos de potencia)





Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Germany
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5
65760 Eschborn, Germany
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

E info@giz.de
I www.giz.de