

BIG DATA EN LA INDUSTRIA DE GENERADORES EÓLICOS: MANTENIMIENTO PRESCRIPTIVO

CARLOS JAVIER URUEÑA MERINO

CEO de Suhalur Innovation

Las turbinas eólicas son una fuente de energía renovable cada vez más utilizada en diferentes países y con una tecnología bastante madura, si bien abierta a la mejora y necesitada de innovaciones. En algunos países, esta industria puede suministrar hasta un 20% del consumo eléctrico. Un parque eólico es una planta de producción de energía eléctrica. Ahora

bien, el combustible que se utiliza no es gas, carbón o uranio que liberan su energía química o nuclear de manera constante y en instalaciones industriales cerradas y controladas en presión y temperatura. Aquí el combustible es un elemento invisible y voluble: el viento. Y para poder utilizar este combustible, los generadores eólicos deben estar en lugares abiertos, a la intemperie, sujetos a cambios de presión y temperatura, y a la acción de la lluvia, de la nieve, del hielo, de la humedad y hasta de las partículas de arena que transporta el viento.

El viento, la propia fuente de energía, puede ser incluso el mayor riesgo en ocasiones, como en el caso extremo de la ciclogénesis explosiva, capaz de arrancar de cuajo palas de aerogeneradores (1). Y en todo caso, el viento, con su intensidad y dirección cambiantes, suponen un reto, una oportunidad y un riesgo. Porque «El viento sopla de donde quiere, y oyes su sonido, pero no sabes de dónde viene, ni a dónde va...» (Juan 3:8).

NECESIDAD DE PREDICCIÓN ↓

Por lo tanto, esta fuente de energía que proporciona la Naturaleza, es impredecible a medio plazo y supo-

ne un verdadero reto, tanto para su aprovechamiento como para realizar un mantenimiento de los equipos que componen las turbinas eólicas lo más eficaz y económico posible.

Aun siendo imprevisible en los instantes concretos, el recurso eólico de una determinada ubicación geográfica tiene unos valores anuales medios repetitivos (con un cierto margen porcentual). Así, por ejemplo, hablamos de un parque eólico de 2.800 horas u otro de 2.500 horas. Estas estimaciones se hacen una vez medido el recurso eólico de la ubicación del parque eólico durante uno o más años. Estas medidas son fundamentales para calcular la capacidad de producir energía de un determinado parque eólico, que depende no sólo del recurso de viento, sino del tipo de turbina eólica (altura de la torre, longitud de las palas y resto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos) y del diseño del parque.

Una vez construida la planta de energía eólica, y debido a la variabilidad en intensidad y dirección del viento, es fundamental disponer de modelos de previsión meteorológica que puedan pronosticar lo que ocurrirá

con la máxima antelación posible. Lógicamente, más antelación implica menos precisión.

La aplicación de estos modelos de predicción es fundamental al menos para:

1. Prever la producción que puede generar el parque eólico. El recurso eólico combinado con la situación concreta del parque (turbinas disponibles, rendimiento esperado de cada turbina y otros posibles condicionantes) permiten estimar la producción posible del parque durante las siguientes horas.
2. Planificar algunas operaciones de mantenimiento de las turbinas en las horas en que el recurso eólico es mínimo o no es necesaria toda la producción posible. Por el contrario, si el viento es excesivo, hay determinadas operaciones de mantenimiento que no se pueden realizar.
3. Hacer *trading* en el mercado eléctrico. La demanda de la red eléctrica, junto al sistema de asignación de la demanda, hacen necesaria una predicción lo más ajustada posible para ofertar energía al gestor de la red eléctrica. Normalmente, cualquier error en la predicción es penalizado económicamente, con lo que influye directamente en la rentabilidad del parque eólico.

Como se puede apreciar, «predicción» es una palabra clave en la gestión de un parque eólico. Prever cómo se va a comportar el viento es sólo una de las acciones necesarias, pero no es suficiente. Hay otros factores meteorológicos que influyen en el comportamiento de las turbinas eólicas. Las temperaturas muy altas pueden hacer «disparar» los generadores eléctricos. Las temperaturas muy bajas pueden afectar a diversos componentes, como las palas, por ejemplo, en las que se pueden formar capas de hielo. Las elevadas humedades del aire (en zonas costeras o directamente en parques *offshore*) pueden afectar a los componentes eléctricos y electrónicos. El polvo o arena transportados por el viento son muy abrasivos y pueden afectar a muchos componentes, incluso a la torre metálica, que puede perder su pintura (en zonas de altas temperaturas el color de la torre es importante). En un parque eólico *offshore*, el estado de la mar (de raíz meteorológica, al fin y al cabo) es otro factor a tener en cuenta, muy especialmente para operaciones de mantenimiento.

Los ejemplos anteriores sirven para ilustrar la importancia de la predicción meteorológica global. Pero esto tampoco es suficiente. Es necesario prever el comportamiento de los componentes de las turbinas eólicas. Cada turbina es una central de producción de energía en sí misma. Una turbina eólica moderna es un sistema electromecánico con unos 30.000 componentes integrados en diferentes subsistemas, tales como rotor, multiplicadora, generador, transmisión... Esta complejidad implica multitud de variables a controlar. Una turbina que deja de funcionar supone un lucro cesante directo desde el momento en que se para y la duración

de la parada puede estar comprendida entre algunas horas o incluso semanas o meses. ¿De qué depende esta duración?: de la «predicción». Por ejemplo, si la multiplicadora se avería sin haberlo previsto y no existen repuestos, la parada puede ser de muchas semanas. Además, es de suponer que la urgencia del pedido de un repuesto imprevisto suponga elevados sobrecostes. Aquí el impacto económico puede ser muy elevado, tanto en lucro cesante como en sobrecostes con el proveedor del componente y con el operador logístico. Lógicamente, en el caso de un parque eólico *offshore* el impacto es aún mayor.

TÉCNICAS DE *BIG DATA*, PREDICCIÓN Y PRESCRIPCIÓN ¶

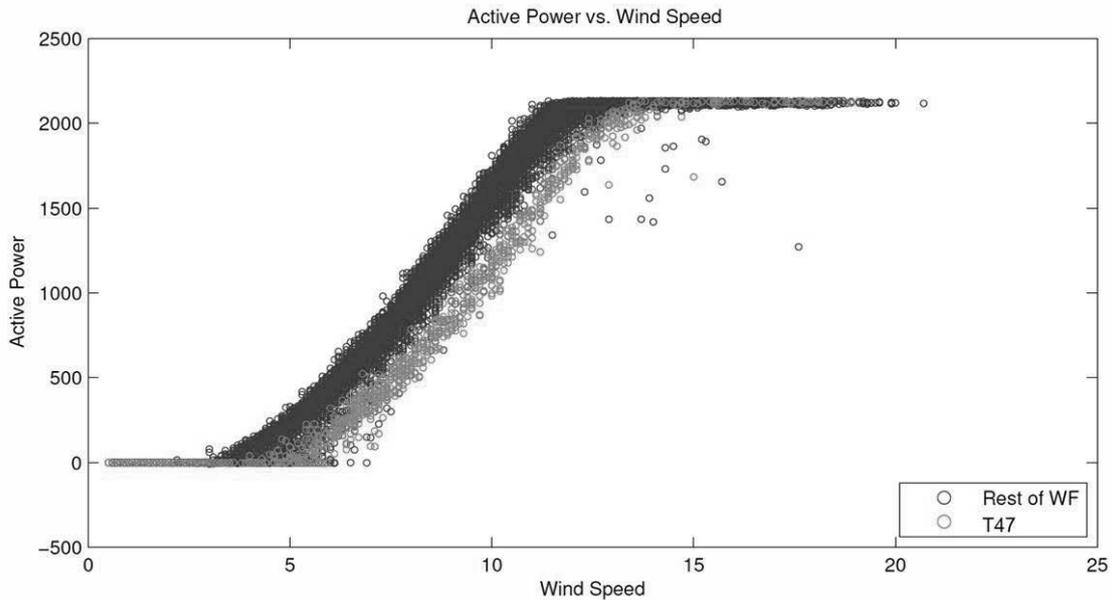
Todo lo anterior nos conduce inevitablemente hacia tres conclusiones:

1. Debido a la gran cantidad de factores que influyen en la operación de un parque eólico y al enorme número de componentes, es preciso procesar los valores medidos por los sensores mediante técnicas especiales. La utilización de las técnicas de *Big Data* supone una ventaja considerable.
2. El tipo de mantenimiento de un parque eólico no debe ser reactivo (se actúa cuando algo se avería), ni siquiera preventivo (se planifican ciertas revisiones y operaciones periódicas). El mantenimiento de un parque eólico debe ser predictivo.
3. Ahora bien, la complejidad de gestión de un parque eólico hace que, incluso con predicciones ajustadas, las decisiones a tomar no sean evidentes. Es aquí donde surge la necesidad de utilizar herramientas que ayuden a la decisión y, una vez más, la «predicción» de las consecuencias de cada decisión es el elemento clave. Cumplidos los condicionantes de seguridad y calidad, el impacto económico global es el factor determinante para elegir entre el abanico de posibilidades de decisión. Este tipo de mantenimiento, que se apoya en la predicción y que aporta ayuda a la decisión, se denomina «mantenimiento prescriptivo» y representa una innovación para la mejora de la eficacia operativa y económica respecto a las soluciones existentes hasta la actualidad.

Ahora mismo, el mantenimiento de parques eólicos más moderno utiliza sistemas de control, supervisión y adquisición de datos (conocidos por su acrónimo inglés «SCADA»). La transmisión a distancia en tiempo real de los valores recogidos por los numerosos sensores en cada turbina eólica hacia el SCADA situado en el centro de control supone la generación de multitud de valores por unidad de tiempo.

Para poder analizar eficientemente los datos del SCADA de un parque eólico se aplican técnicas de *Big Data*. Con parques de más de 100 turbinas eólicas y cada turbina produciendo datos de unos 50 sensores, los datos no pueden ser examinados manualmente.

FIGURA 1
EXTRACTO DEL INFORME DE EXCEPCIÓN DE LA CURVA DE POTENCIA DEMOSTRANDO UNA DISMINUCIÓN DE RENDIMIENTO SIGNIFICATIVA EN T47 COMPARADO CON EL RESTO DE TURBINAS DEL PARQUE EÓLICO



Fuente: Tom Neilson, de la empresa SCADA MINER de Melbourne (Australia)

EJEMPLO DE UN SISTEMA ACTUAL CON BIG DATA Y PRE-DICCIÓN

A continuación, se va a presentar con un cierto detalle un ejemplo que muestra cómo se viene actuando hasta ahora en los sistemas avanzados de mantenimiento. Está basado en un sistema real (2) que utiliza los datos del SCADA de un parque eólico mediante técnicas de *Big Data*.

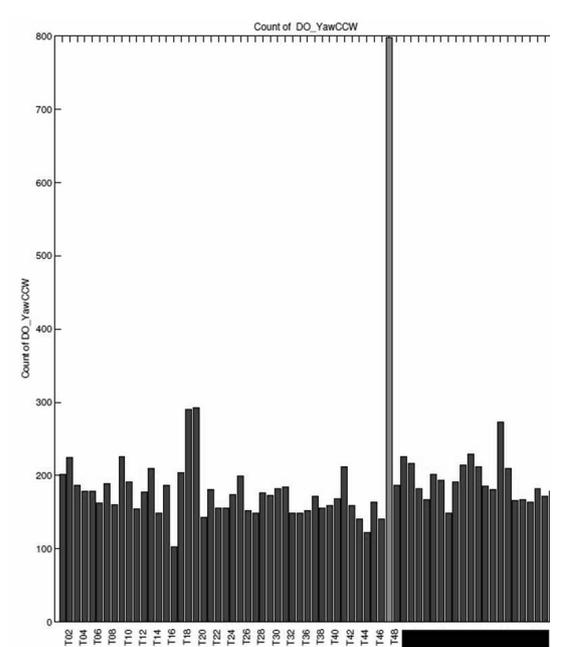
El sistema de este ejemplo ejecuta periódicamente *tests* sobre los datos del SCADA buscando problemas específicos. Cuando se identifican problemas, un informe de excepción se genera y se carga en un sistema de seguimiento de excepciones. En este ejemplo real, los *tests* sobre los datos de una turbina estaban generando tres tipos de informes de excepción de manera consistente. Los *test* son descritos a continuación:

1. Curva de potencia (extracto mostrado en Figura 1) – la turbina T47 estaba teniendo un rendimiento bastante inferior a la norma del parque eólico en términos de curva de potencia (potencia producida para una determinada velocidad de viento).

No se pudieron sacar conclusiones definitivas sólo con este informe a causa de la incertidumbre de las medidas del anemómetro (debido a que los anemómetros están posicionados en la estela de las palas). Esto hizo que hubiera que investigar mediante medios adicionales la disminución del rendimiento.

Los dos *tests* adicionales generados para esta turbina ayudaron a concluir que esta turbina estaba realmente rindiendo por debajo de la norma del

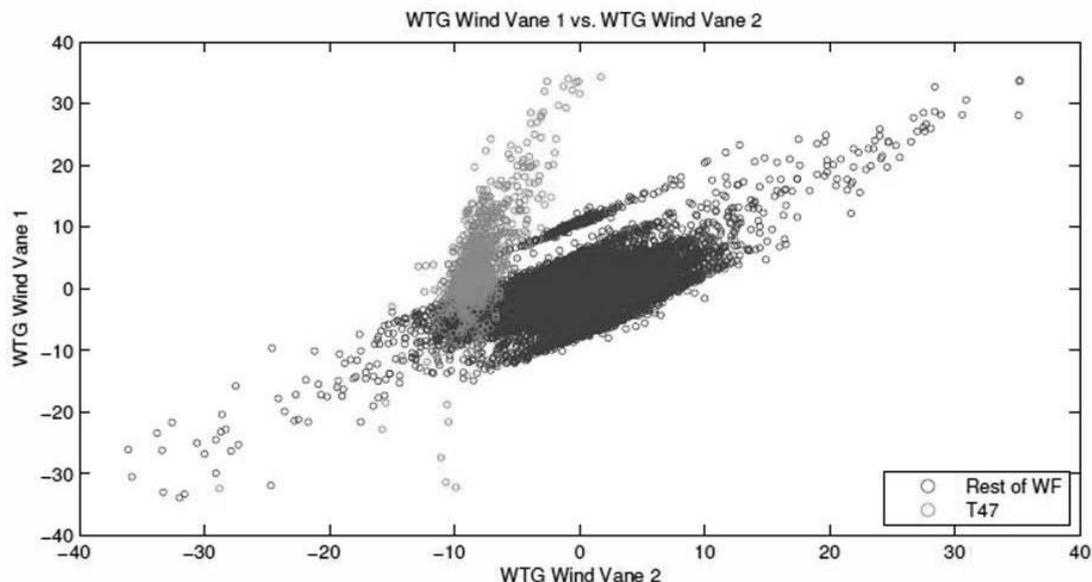
FIGURA 2
PLOT DEL INFORME DE EXCEPCIÓN DE LA CUENTA DEL MECANISMO DE ORIENTACIÓN AL VIENTO ALERTANDO DE LA FRECUENCIA INCREMENTADA DE ACTIVACIÓN DEL ACCIONAMIENTO DE ORIENTACIÓN AL VIENTO DE LA TURBINA DE RENDIMIENTO DISMINUIDO T47



Fuente: Tom Neilson, de la empresa SCADA MINER de Melbourne (Australia)

FIGURA 3

EL PLOT DE DISPERSIÓN DEL INFORME DE EXCEPCIÓN MOSTRANDO CLARAMENTE QUE LA TURBINA T47 SÓLO EXHIBE UN PEQUEÑO CAMBIO EN LA SEÑAL DE LA VELETA 2 CUANDO LA SEÑAL DE LA VELETA 1 VARÍA. LAS VELETAS DEL RESTO DEL PARQUE EÓLICO ESTÁN EN GENERAL DE ACUERDO ENTRE SÍ



Fuente: Tom Neilson, de la empresa SCADA MINER de Melbourne (Australia)

parque eólico y que el hecho necesitaba ser investigado.

2. Alta cuenta del mecanismo de orientación al viento (extracto mostrado en Figura 2) – La turbina T47 estaba activando sus accionamientos de giro de orientación al viento cuatro veces más frecuentemente que el resto de las turbinas del parque eólico. Esto implica que el sistema de control no estaba actuando de manera precisa, lo que podría ser debido a una parametrización errónea, fallo de sensores o incluso turbulencias locales.

Como la desalineación del mecanismo de orientación al viento es una causa común para la disminución de rendimiento de una turbina, la generación de un informe para la turbina T47 remarcando un problema por el excesivo movimiento de orientación reforzó la sospecha de la turbina rindiendo por debajo de la norma.

3. Veleta 1 vs. Veleta 2 (extracto mostrado en Figura 3) – Este particular modelo de turbina eólica disponía de dos veletas. La señal de ambas era usada para determinar la dirección del viento y, por tanto, la dirección que la góndola debería encarar para obtener la producción máxima. Este tercer *test* que estaba desencadenando informes de excepción mostró que mientras todas las otras turbinas mantenían una estrecha relación directa entre las medidas de la veleta 1 y la veleta 2 (esto es, cuando la veleta 1 medía 10 grados, la veleta 2 también mostraba una medida muy próxima a 10 grados), las veletas de la turbina T47 no muestra-

ban esta estrecha relación. Este último informe de excepción resaltaba la causa raíz de los informes de Curva de potencia y Alta cuenta del mecanismo de orientación al viento. Solventar la avería fue muy simple: la veleta que se estaba atrancando fue desmontada, limpiada y remontada.

4. Una vez hecha esta operación de mantenimiento, la turbina T47 cesó de producir estos informes de excepción.

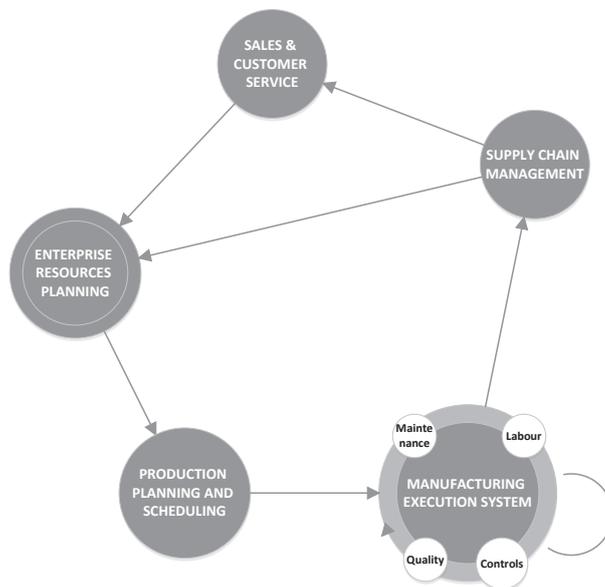
El ejemplo anterior demuestra cómo la detección de una anomalía en los datos del SCADA puede identificar un posible problema, y la agrupación de otras anomalías que complementen la información puede:

- a. Proporcionar más certidumbre de que el problema no está causado por «ruido» en los datos.
- b. Proporcionar valiosas revelaciones sobre la causa raíz.

Por consiguiente, la utilización de técnicas de *Big Data* para procesar la gran cantidad de datos generados por los sensores de cada turbina eólica permite detectar anomalías y, agrupando datos para analizar diferentes componentes y subsistemas, se pueden deducir causas para decidir acciones antes de que un fallo fatal ocurra.

Los sensores más avanzados son sensores de desplazamiento para medir posiciones y acelerómetros para medir vibraciones de componentes. El sistema SCADA debe tomar muestras con la frecuencia apropiada a

FIGURA 4
IZQUIERDA →RELACIONES USUALES ENTRE LAS ÁREAS DE LA EMPRESA
DERECHA →RELACIONES EN EL SISTEMA PRESCRIPTIVO PROPUESTO (4)



Fuente: Proyecto Europeo PRISM de HORIZON 2020, coordinado por el autor del artículo

cada variable y estos datos se monitorizan local o remotamente. La frecuencia de muestreo debe depender de cuán rápido cambian los datos, lo que es una función del subsistema o componente que se está midiendo. Lógicamente, cuanto más rápido cambia o puede cambiar una variable, la frecuencia de muestreo deberá ser más alta.

Sin profundizar demasiado en el análisis técnico, se puede apuntar que existen diferentes técnicas para el análisis de los datos recibidos, tales como «análisis de tiempos y análisis de frecuencias». Sea cual sea la técnica utilizada, lo que se pretende es detectar anomalías de subsistemas y componentes lo antes posible y evitar así fallos fatales que puedan disminuir o paralizar la operatividad de la turbina eólica.

EL FUTURO: ANÁLISIS PRESCRIPTIVO ↓

Hasta aquí nos hemos referido a un sistema de mantenimiento predictivo estándar, que aun siendo muy avanzado en relación a los sistemas de mantenimiento de procesos industriales que se han venido utilizando durante muchos años, precisa de una ayuda adicional para ser aún más completo y eficaz. Esta ayuda la proporciona el «análisis prescriptivo».

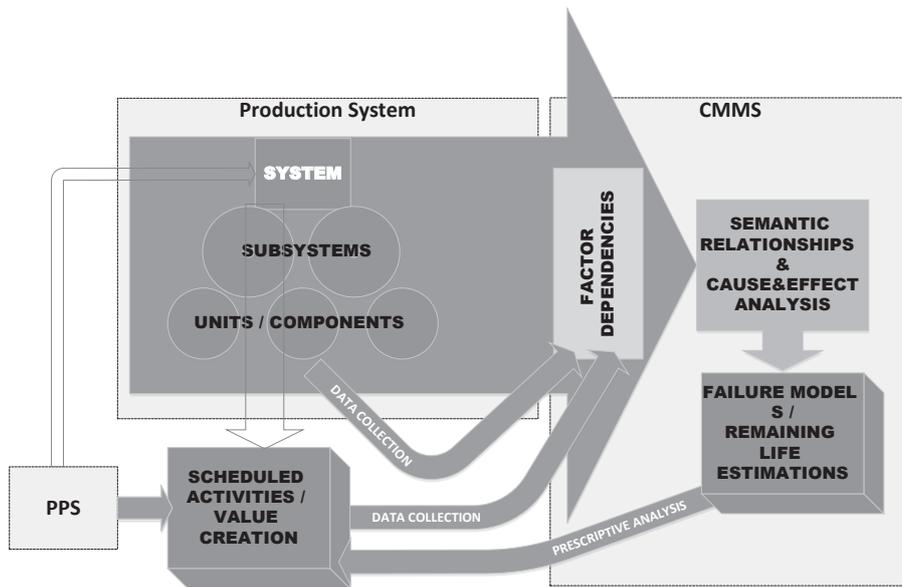
El mantenimiento prescriptivo constituye la evolución del mantenimiento predictivo (3). Como si se tratase del ejercicio de la medicina, el mantenimiento prescriptivo es un proceso que comienza con el «análisis» de síntomas, sigue con el «diagnóstico» de la salud de cada componente, continúa considerando las «alternativas para el tratamiento» y finalmente realiza una «prescripción» de la acción o acciones a tomar.

Más específicamente, se aplican las técnicas explicadas de recolección, agregación, validación y análisis de datos de los subsistemas y componentes de la turbina eólica. A continuación, se utilizan diversas técnicas científicas y reglas de negocio para predecir resultados y finalmente se recomiendan acciones para producir el resultado preferido.

Aplicándolo al escenario del ejemplo analizado, se puede imaginar un mantenimiento prescriptivo realizado por un sistema inteligente que puede reconocer que si ciertos modelos de comportamiento ocurren en los tipos de problema que son identificados a través del examen de los datos (por ejemplo, disminución de rendimiento de la turbina combinado con excesivo movimiento de orientación al viento y/o la cuestión de la veleta), pueda emitir recomendaciones automáticas sobre el curso de acción que necesita ser tomado para restaurar la unidad a una operación normal. Tal sistema reducirá los costes de operación de los parques eólicos ahorrando tiempo de detección y resolución de fallos, reducirá ocurrencias innecesarias de sustitución de componentes e incrementará la disponibilidad del parque, su rendimiento y su rentabilidad.

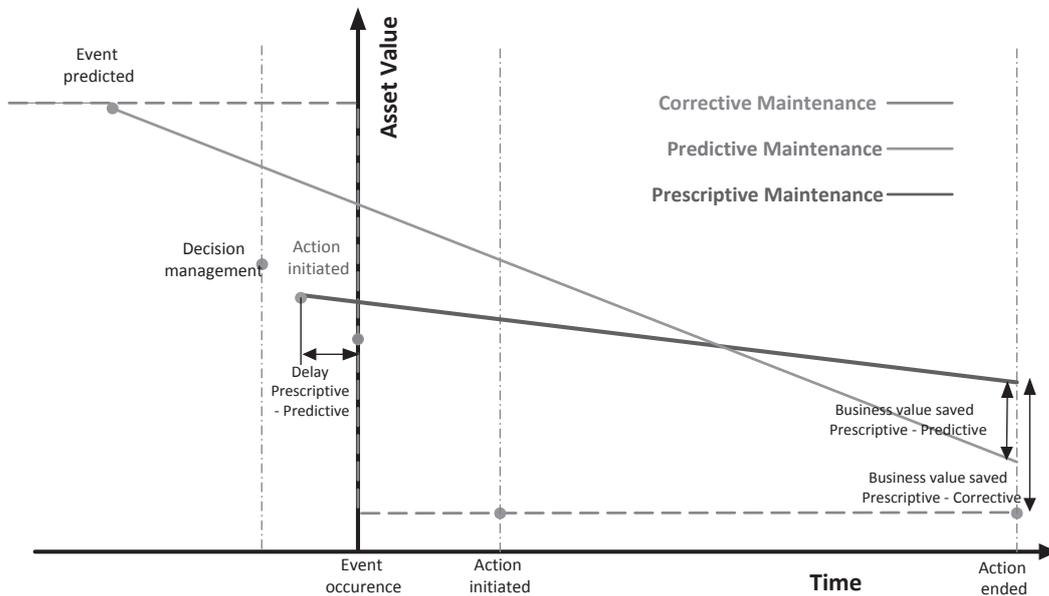
Ahora bien, cualquier intervención de mantenimiento requiere la consideración de su impacto en la producción del parque eólico. Uno de los desafíos de la aplicación de la técnica del mantenimiento prescriptivo a una central de energía eólica es la necesidad de considerar la operación y el mantenimiento del parque de manera holística y sincrónica, puesto que ambos son estrechamente interdependientes. Si esto es cierto para cualquier planta industrial, en el caso de la

FIGURA 5
ESQUEMA EXPLICATIVO DE LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO PRESCRIPTIVO (4)



Fuente: Proyecto Europeo PRISM de HORIZON 2020, coordinado por el autor del artículo

FIGURA 6
GRÁFICA PARA ILUSTRAR LAS DIFERENTES EFICACIAS PARA PRESERVAR EL VALOR DE LOS COMPONENTES EN LOS MANTENIMIENTOS CORRECTIVO, PREDICTIVO Y PRESCRIPTIVO (4)



Fuente: Proyecto Europeo PRISM de HORIZON 2020, coordinado por el autor del artículo

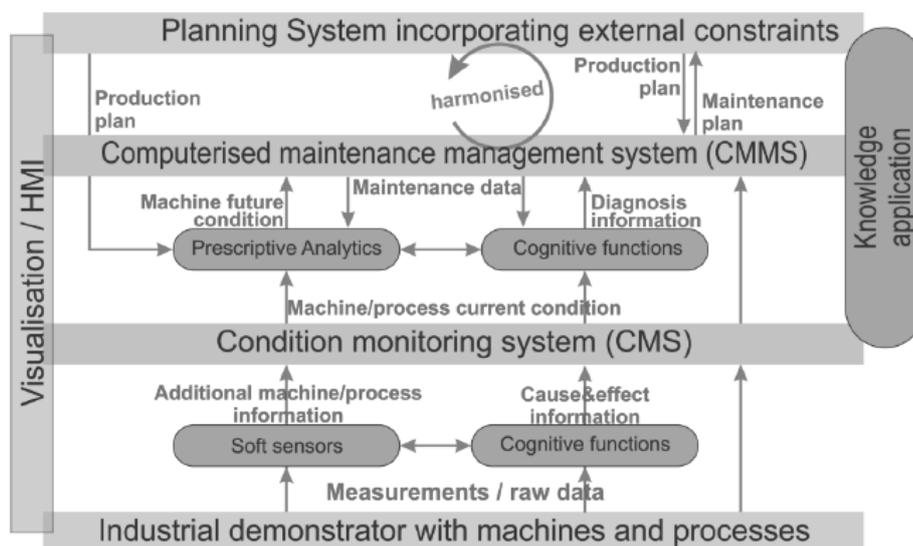
energía eólica es de máxima relevancia debido a la necesidad de aplicar predicciones en ambos ámbitos de producción y mantenimiento dada la naturaleza variable del recurso del viento.

En la Figura 5 se representa un esquema lógico del flujo de datos y acciones de un novedoso sistema de

mantenimiento prescriptivo. Se ha tomado de un proyecto europeo (4) recientemente presentado al programa HORIZON2020.

El impacto que supondría la aplicación del mantenimiento prescriptivo en un parque eólico se representa en la Figura 6.

FIGURA 7
RELACIONES ENTRE LOS COMPONENTES INDUSTRIALES (4)



Fuente: Proyecto Europeo PRISM de HORIZON 2020, coordinado por el autor del artículo

IMPACTO ECONÓMICO ↓

En un estudio del Departamento de Energía de EEUU (5), los autores estiman los beneficios de la aplicación del mantenimiento predictivo para la industria en:

- 65-75% de eliminación en número de paradas debido a fallo de equipos.
- 35-45% de reducción de tiempos improductivos no planificados.
- 15-25% de reducción de costes de personal de mantenimiento.
- 15-25% de reducción de pérdidas de producción relacionadas con mantenimiento.

Teniendo en cuenta que el mantenimiento prescriptivo supone una mejora significativa sobre el mantenimiento predictivo (ver Figura 6), los porcentajes anteriores suponen una cota inferior para las mejoras esperadas.

Los datos de la industria eólica europea son significativos (6):

- La nueva potencia eólica instalada en 2015 es 12.800 MW, que supone el 44,2% del total y el tipo de energía más instalado.
- El negocio eólico en la Unión Europea (UE) supone una facturación anual de 72.000 millones de euros y hay 300.000 empleos asociados.
- La electricidad producida por el viento en la UE es un 15,6% del total instalado, lo que significan 142 GW con una capacidad de producción anual de

315 TWh, de los cuales 11,5 GW son instalaciones *offshore* de los mares de Irlanda, del Norte y Báltico, más otros 21,7 GW ya autorizados.

- El coste de la electricidad nivelado (LCOE) de la energía eólica es de 52 a 110 EUR/MWh (Ecofys 2015) y esto significa que la energía eólica es la tecnología de mitigación del cambio climático más efectiva hoy en día. En 2015, la generación de energía de origen eólico evitó 218 millones de toneladas de emisiones de CO₂ en Europa.

Desde el punto de vista económico, si sólo el 10% de los más de 142 GW de potencia eólica actualmente instalada en Europa aplicaran soluciones de mantenimiento prescriptivo, la reducción de costes de mantenimiento y el incremento de eficiencia productiva se pueden estimar en 56,8 millones de euros/año. Hay que tener en cuenta que la potencia instalada procedente de centrales de energía eólica en Europa crece a un ritmo más rápido que cualquier otra industria.

Para el área creciente de las instalaciones *offshore*, el factor «mantenimiento» es crítico. La optimización de las estrategias de mantenimiento es vital y su efectividad puede suponer la diferencia entre un parque eólico rentable y otro deficitario. Cualquier fallo de un componente o subsistema no previsto, el tiempo de inactividad y el consiguiente lucro cesante es muy superior al de un parque eólico terrestre (aparte de los sobrecostes por no cumplir con la producción comprometida en el mercado eléctrico), porque las operaciones involucradas, como alquiler de un barco, transporte de personal y equipos, tiempos de espera por las condiciones climatológicas, etc., requieren intervalos temporales más largos. Lo que quiere decir

que el impacto económico en este tipo de centrales de energía *offshore* será muy superior.

ESQUEMA CONCEPTUAL

En la Figura 7 se representa el concepto de integración del análisis prescriptivo en un sistema industrial. El caso de central de energía eólica es una de las aplicaciones en las que se puede obtener máximo rendimiento de este avanzado planteamiento.

CONCLUSIÓN

La ingente cantidad de datos que hay que controlar en un parque eólico y la implícita necesidad de predecir, introducen de manera natural la tecnología que se adapta mejor para una gestión holística.

El análisis prescriptivo que integra la totalidad de la central de energía eólica (producción y mantenimiento a nivel operativo y resto de áreas para la optimización de las decisiones) permite la obtención del máximo rendimiento productivo y del mínimo coste en las centrales de energía eólica. Para ello, se debe apoyar en las más modernas técnicas de *Big Data* y en el más avanzado mantenimiento predictivo.

NOTAS

- [1] <http://www.lavozdegalicia.es/noticia/galicia/2015/09/14/ciclogenesi-expl-siva-afectara-manana-galicia-lluvias-vientos-fuertes/00031442215654946526910.htm>
http://www.lavozdegalicia.es/noticia/carballo/ponteceso/2016/01/29/viento-causo-accidente-aerogenerador-corme-desprendieron-dos-aspas/0003_201601C29C4994.htm
- [2] Ejemplo real de un parque dotado del SCADA MINER system, Melbourne (Australia)
- [3] What Comes After Predictive Maintenance?
Posted by Dan Miklovic on Thu, Mar 17, 2016 @ 10:39 AM (LNS Research)
- [4] PRISM project under the topic *Novel design and predictive maintenance technologies for increased operating life of production systems*, HORIZON2020 call INDUSTRY 2020 IN THE CIRCULAR ECONOMY.
- [5] Operations & Maintenance, Best Practices, A Guide to Achieving Operational Efficiency, August 2010, United States Department of Energy.
- [6] WIND EUROPE Wind in power: 2015 European Statistics, February 2016.