

LAS CLAVES HACIA EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON VALOR



JOSÉ ANTONIO RUIZ MARTÍN
Líder Tecnológico
TECNATOM S.A.



PETE DAVIES
VP, Head of Digital Engineering Solutions
UNIPER

CORRECTIVO, PREVENTIVO, PREDICTIVO

Existen básicamente tres formas de plantear el mantenimiento de una instalación industrial, a saber: correctivo, preventivo y predictivo. Cada una de ellas tiene sus limitaciones y fortalezas con lo que buena parte del éxito será consecuencia de haber acertado con la combinación más apropiada dependiendo de las especificidades de cada planta.

En un sentido amplio, entendemos como mantenimiento correctivo aquel que se realiza como una reacción cuando el incidente ya se ha producido. Entendemos como incidente no solo el fallo del equipo en sí, sino también cuando la alarma correspondiente ya ha aparecido en sala de control. En ese punto, la operación de la planta ya ha sido afectada bien obligando a modificar el ritmo de generación bien forzando la intervención sobre los equipos urgentemente y no en el momento óptimo. Su fortaleza reside en que reduce los costes fijos de O&M, pero a costa de aumentar los costes variables (la reparación de equipos ya degradados) e impactando en la generación (obligando a incumplir la estrategia óptima de operación).

Entendemos mantenimiento preventivo aquel que se realiza siguiendo un plan predeterminado, típicamente definido por calendario o por volumen de uso. Su fortaleza reside en que reduce de forma significativa las intervenciones no planificadas y el impacto en la producción, pero a costa de afectar de forma relevante a los costes fijos interviniendo sobre equipos que no lo requieren.

Entendemos como mantenimiento predictivo aquel que se basa en la intervención sobre los equipos solo cuando es-

tos se encuentran en un estado (condición) que advierte de un inicio de degradación. Su fortaleza reside en que impacta sobre los costes fijos interviniendo exclusivamente sobre los equipos que lo requieren, y sobre los costes variables advirtiendo de la degradación en fases iniciales de la misma (permitiendo planificar las intervenciones minimizando las pérdidas de producción). No obstante, con frecuencia requiere ampliar la instrumentación de la instalación, para que alimente a algoritmos complejos en la búsqueda de patrones de degradación, que deben ser interpretados por personal con una capacitación específica.

En la literatura aparecen con cierta frecuencia menciones a los mantenimientos con pronóstico y prescriptivo. Podemos entender ambos como evoluciones del mantenimiento predictivo cuando la base experiencial es suficiente, como para permitir el diagnóstico de la causa y el pronóstico de la evolución en el tiempo. En ese caso es posible también la prescripción de la secuencia óptima de intervenciones teniendo en cuenta la evolución esperada de la degradación, el coste de su reparación y la estrategia de operación de la planta. Lamentablemente la base de datos necesaria, sobre los patrones de evolución de los distintos tipos de fallos de equipos, es algo que está al alcance de muy pocos actores, con disponibilidad de datos sobre cientos de equipos y con la capacidad de experimentar sobre ellos hasta el fallo. Por ello, es algo que queda fuera del alcance de los operadores de las plantas y no lo trataremos en este artículo.

De forma gráfica podríamos representar las tres aproximaciones en un eje de tiempo hacia el fallo como aparece en la Figura 1.

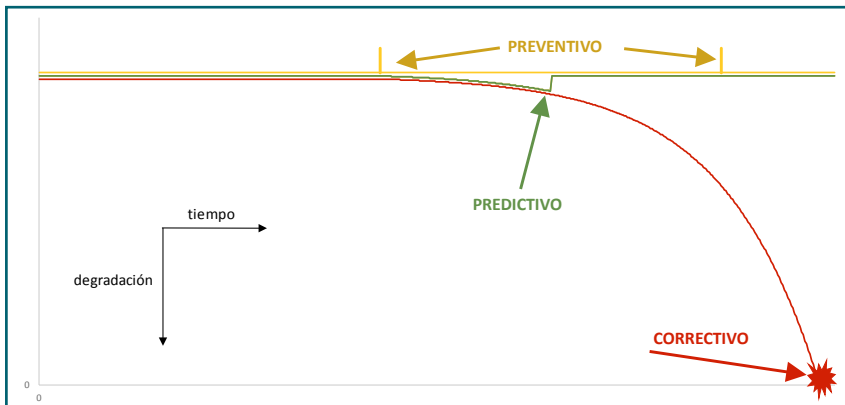


Figura 1. Los tres esquemas de mantenimiento básicos.

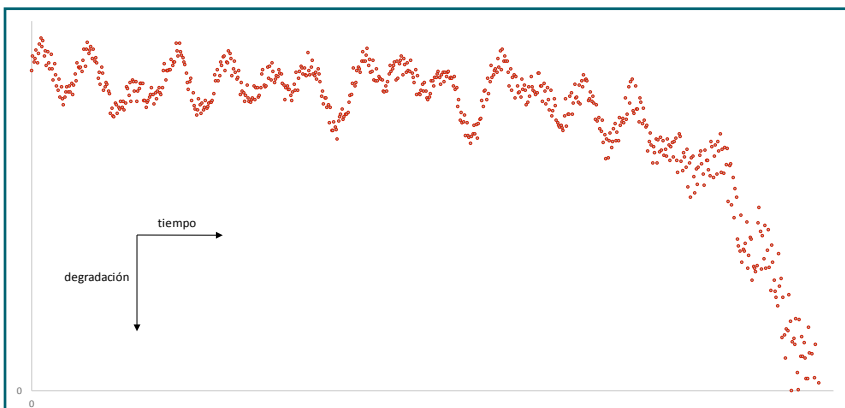


Figura 2. Evolución realista de un proceso de degradación.

CLAVES PARA UN MANTENIMIENTO PREDICTIVO CON VALOR

Desde un punto de vista académico es evidente que el mantenimiento predictivo es el más apropiado toda vez que reduce las intervenciones a cuando son necesarias, afectando levemente a la generación y cuando la degradación del equipo aún no es excesiva. Así que, la necesidad de mejorar los resultados de la planta mediante la reducción de los costes de O&M y preservando los activos que están envejeciendo, tendrá que apoyarse en este tipo de esquemas.

Sin embargo, las estrategias predictivas no son tan sencillas de implementar como podría parecer en esta primera aproximación y es necesario contemplar algunos aspectos que pasaremos a describir en adelante.

En efecto, la evolución del desempeño de un equipo y su degradación en el tiempo tendrá un aspecto más parecido

al que aparece en la Figura 2. En ella observamos la dificultad de identificar las regiones en que el desempeño es normal de aquellas otras donde comienza el proceso de degradación.

Las señales que recibimos presentan en la realidad una variabilidad a lo largo del tiempo, que hace que no sea trivial determinar claramente la condición en la que se encuentra el equipo.

La variabilidad es debida a dos factores. El primero es el propio ruido intrínseco a la toma de medidas en cualquier proceso, mientras que el segundo es el asociado a la dependencia del desempeño en el entorno (entendiendo como tal también los distintos modos de operación y alineamientos posibles).

Por lo tanto, el problema de fondo a que se enfrenta el enfoque predictivo es ser capaz de identificar cuál es el comportamiento esperado y cuando el comportamiento real se separa del mismo. Existen diversas formas de afrontar el reto, desde el desarrollo de modelos basados en la resolución numérica de las ecuaciones dinámicas del proceso, hasta el empleo de modelos generados a partir de inteligencia artificial y aprendizaje sobre la evolución del proceso en momentos pasados. En cualquier caso, todos ellos lo que finalmente buscan es correlacionar las variables del proceso con sus condiciones de contorno y la situación operativa. La degradación aparecerá como una separación del funcionamiento respecto a dicha correlación.

Falsos positivos, falsos negativos

Puesto que debemos trabajar sobre señales variando, es previsible que en ocasiones detectemos como degradación lo que es tan solo variabilidad de la señal y viceversa, puede que la variabilidad esconda los síntomas iniciales de la degradación. En el primer caso estaríamos alertado como eventual problema algo que no lo es (falso positivo) y en el segundo estaríamos no alertando sobre un eventual incidente que ya está en marcha (falso negativo).

Es evidente que, entonces, el objetivo de una estrategia predictiva debe ser alertar de los incidentes con plazo suficiente

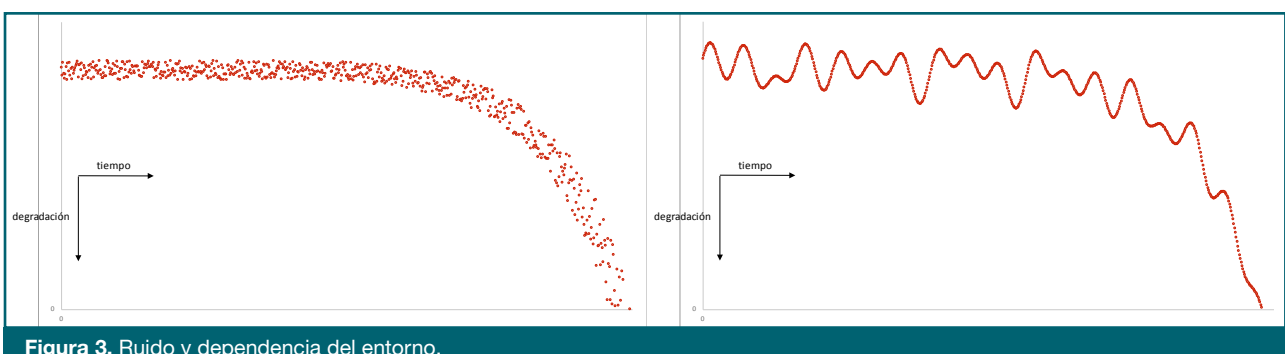


Figura 3. Ruido y dependencia del entorno.

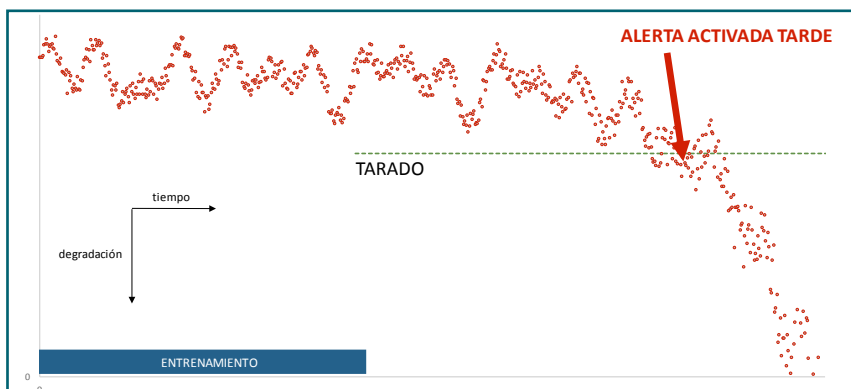


Figura 4. Mantenimiento predictivo en sistemas subsensorizados o pobremente configurados.

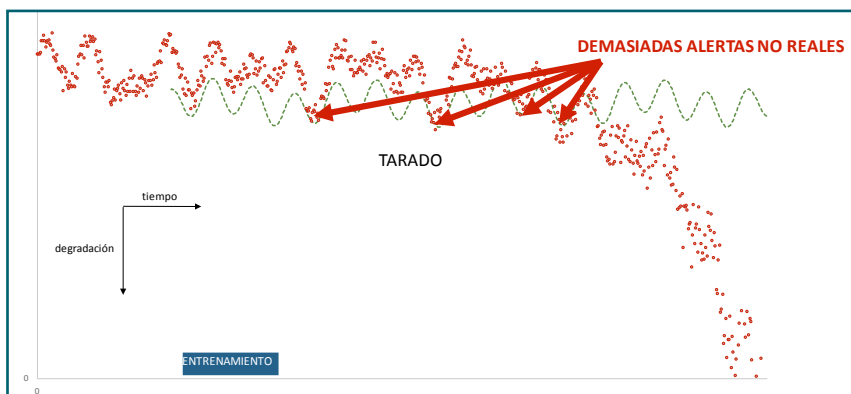


Figura 5. Mantenimiento predictivo pobremente entrenado.

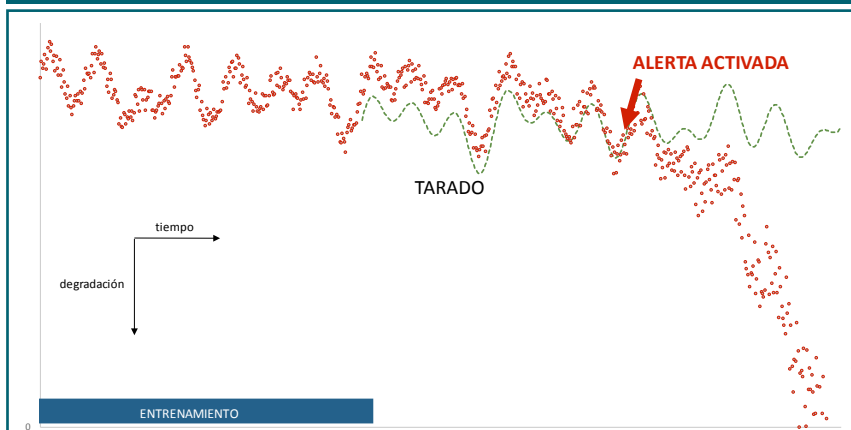


Figura 6. Mantenimiento predictivo en sistemas suficientemente sensorizados, bien configurado y entrenado adecuadamente.

antes de que se produzcan pero reduciendo todo lo posible los falsos positivos y falsos negativos.

Sin embargo no es posible reducir ambos simultáneamente, ya que configuraciones muy conservadoras tendrán como subproducto un aumento de los falsos positivos, mientras que configuraciones poco conservadoras pueden interpretar falsos negativos como comportamiento normal.

Sensorización apropiada

El desconocimiento de la evolución de alguna variable de entorno relevante nos impedirá afinar el comportamiento esperado y deberemos admitir como desempeño aceptable todo lo comprendido en la banda de variabilidad (o en

otras palabras, interpretaremos como ruido toda la variabilidad de la señal). Si queremos evitar una activación frecuente de falsos positivos, entonces estaremos obligados a establecer el nivel de activación de alerta por debajo del valor mínimo encontrado en el periodo de entrenamiento. Ello se traducirá en un nivel de activación de alertas de mantenimiento constante y poco conservador (existencia de falsos negativos).

Este tipo de situaciones es el que esperearemos en caso de instalaciones poco sensorizadas o algoritmos de detección de alertas deficientemente configurados (por no haberse contemplado suficientemente todas las correlaciones cruzadas relevantes) o en fallos de transmisores en algoritmos poco resilientes.

El resultado final es que la alerta se produce demasiado tarde cuando el equipo ya tiene una degradación importante. De forma gráfica esta situación será la que aparece en la Figura 4.

Entrenamiento suficiente

Si el equipo está suficientemente sensorizado (sin buscar la sobresensorización sino el mejor ajuste coste-beneficio posible), pero no hemos contemplado los suficientes periodos de entrenamiento como para incluir todos los modos operativos y condiciones de contorno posibles, entonces el sistema identificará como zonas de alerta algunas regiones aceptables pero para las que no ha sido preparado, disparándose el número de falsos positivos (Figura 5).

Cómo ejemplo más evidente podríamos mencionar que no contemplar periodos de entrenamiento en todas las estaciones del año, puede provocar falsos positivos cuando la planta opera en condiciones estacionales de temperaturas en máximos o mínimos.

Activación óptima de alertas

Sin embargo, si el proceso está suficientemente sensorizado y entrenado, entonces podremos sustraer de la variabilidad observada la parte correspondiente a las dependencias en el entorno. Gracias a ello la banda de maniobra aceptable se reducirá eliminando un porcentaje de los falsos negativos. De forma gráfica podemos representar esta situación como aparece en la Figura 6.

Tarados valiosos

El siguiente elemento a considerar es la separación con respecto al funcionamiento entrenado que consideraremos admisible, es decir, el tarado que emplearemos en la activación de las alertas.

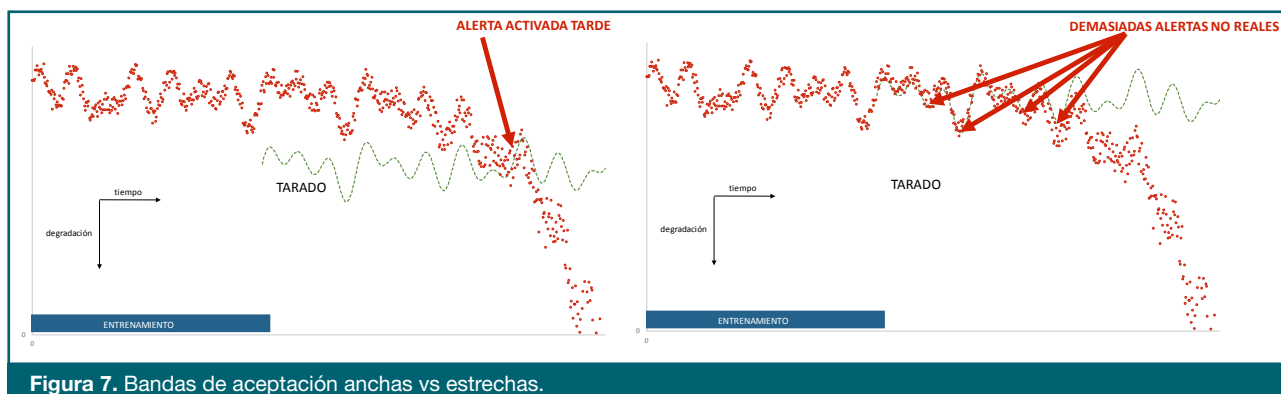


Figura 7. Bandas de aceptación anchas vs estrechas.

Un tarado muy grande se traducirá en una banda de maniobra muy amplia que creará pocos falsos positivos, pero probablemente no detectará algún positivo real. Cuando el sistema detecte la degradación, esta será más importante y su corrección más cara y urgente.

Sin embargo, un tarado excesivamente pequeño provocará una avalancha de falsos positivos o positivos reales pero sin valor, detrayendo recursos para su análisis innecesario. El caso límite sería cuando las bandas de maniobra sean del mismo orden de magnitud que la propia variabilidad estadística (desviación cuadrática) o que la precisión de los propios equipos de medida.

Debemos ser cautos si deseamos establecer las bandas de maniobras basándonos en criterios estadísticos (por ejemplo cuando dicha banda se define como un número predeterminado de desviaciones cuadráticas de la medida) pues un criterio de este estilo no tiene en cuenta el valor que aporta la alerta.

La experiencia compartida entre Tecnatom y Uniper aconseja que los tarados de activación los establezcan expertos en el proceso aportando la visión de valor aportado.

Como punto de partida inicial puede ser apropiado emplear un compromiso entre porcentaje del tarado de la alarma en sala de control y cero activaciones en periodos de entrenamiento.

Ambos casos límite aparecen reflejados de gráfica en la Figura 7.

Entender los resultados

Finalmente existe un último elemento que debemos contemplar. Cuando ponemos en marcha una estrategia predictiva estamos poniendo en manos de algoritmos y modelos la salud de nuestros equipos y por ello, también la seguridad y rendimiento de nuestra instalación. Estamos, en otras palabras, poniéndonos en manos de “cajas negras” de las que solo conocemos sus resultados, pero no la forma en la que han llegado a ellos.

En nuestra opinión es importante entender cómo se realiza la configuración de los modelos, sobre qué periodos se ha entrenado y en qué consisten las técnicas que emplean para hacer sus predicciones. No olvidemos que, al final del proceso, son seres humanos los que, de momento, interpretan los resultados y activan las órdenes de trabajo.

En este sentido, en nuestra opinión, es útil todo esfuerzo por simplificar los algoritmos y hacerlos comprensibles.

La aproximación de Tecnatom y Uniper es que los resultados de la herramienta predictiva deben ser interpretados por técnicos priorizando su experiencia en la O&M y, secundariamente, capacitados en el algoritmo y su configuración. Por esta razón nuestra aproximación es realizar la monitorización predictiva y la activación de alertas como un servicio proporcionado desde nuestros centros de monitorización. De esta manera, adicionalmente, se pone en valor al servicio de todos los usuarios la experiencia de alertas generadas en otras plantas y otros equipos.

CASOS DE ÉXITO PREDICTIVOS

Las estrategias de mantenimiento predictivo son ya un estándar en muchas actividades industriales donde demuestran gran valor en la reducción de los costes de O&M y en la reducción de incidentes. Quizás aún no sean comunes en las centrales nucleares, pero deberíamos considerarlas con atención teniendo en cuenta la historia de éxitos que las acompañan.

A modo de ejemplo en los párrafos siguientes se presentan tres casos de éxito reales obtenidos de la experiencia de Tecnatom en el uso de la herramienta SpheriCAL y el entorno Enerlytics (propiedad de Uniper, aplicados sobre plantas hasta un total de 35 GW de potencia de diversas tecnologías de generación, y con quien Tecnatom tiene un acuerdo para su uso y distribución).

El primer caso (Figura 8) se refiere a la degradación de la deltaP en un filtro de aire. Se observan la evolución de la variable real (línea marrón) y su límite de aceptabilidad por encima (línea verde) durante un mes de agosto sin problemas relevantes (se observa como la evolución real y su límite evolucionan de forma paralela), y cómo el sistema identifica la degradación progresiva durante el mes siguiente hasta activar la alerta a finales de septiembre. Debe mencionarse que la alerta se activa en un valor cuatro veces por debajo del tarado de su alarma en sala de control y cinco veces por debajo de la señal automática de *runback*. Gracias a ello, la planta pudo planificar las tareas de mantenimiento sobre el filtro con varios meses de anticipación.

El segundo caso (Figura 9) se refiere al incremento de vibraciones en cojinetes de una bomba de agua de alimentación a lo largo de cinco meses (agosto a noviembre). El sistema alertó a primeros de noviembre (tres veces por debajo del tarado de la alarma en sala de control y cuatro veces por debajo de la señal de disparo). La planta pudo planificar, con suficiente anticipación, la revisión de la bomba cuando ésta aún se encontraba en buenas condiciones y sin afectar a la producción.



Figura 8. Evolución en dos meses consecutivos de la deltaP en un filtro de toma de aire.



Figura 9. Evolución en las vibraciones en los cojinetes de una bomba de agua de alimentación.

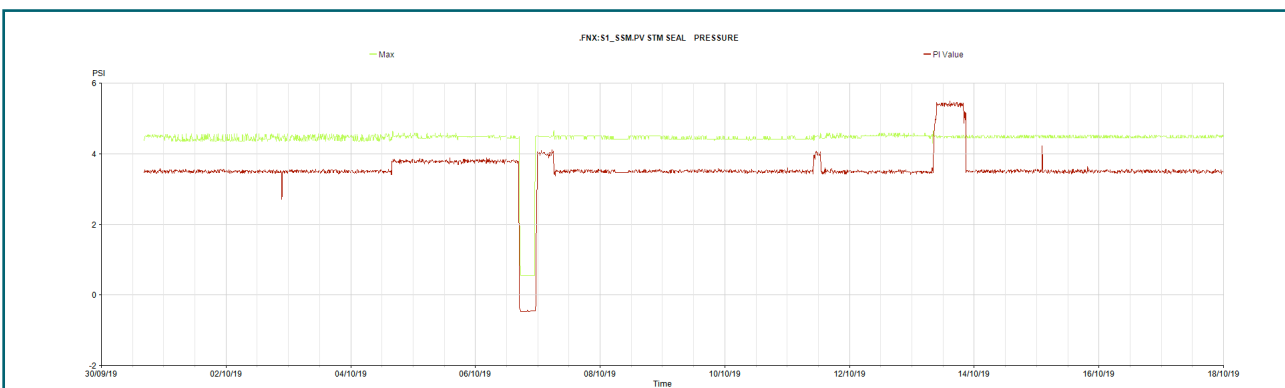


Figura 10. Alerta en la presión de vapor a sellos de turbina debido a problemas en la válvula de control

Debe mencionarse que los sistemas predictivos detectan cualquier excursión de comportamiento fuera de la zona de normalidad, por lo que no solo detectan degradaciones progresivas como en los casos anteriores, sino también cualquier desalineamiento con respecto al esperado. El tercer ejemplo (Figura 10) se corresponde con un problema detectado en la presión de sellos de turbina (sin aviso

en alarmas en sala de control) como consecuencia de un fallo en el posicionador de la válvula de control correspondiente. El sistema lo detectó en vivo, lo que permitió su corrección inmediata evitando la pérdida de rendimiento asociada a un consumo excesivo de vapor a sellos y eventual sobredesgaste del sistema por trabajar fuera de su zona de trabajo.

CONCLUSIONES

Desde el primer momento en que planteemos una estrategia de mantenimiento predictiva que nos aporte valor, deberemos contemplar los siguientes elementos:

- Sensorización apropiada.
- Modelos de comportamiento aceptable robustos y resilientes.
- Entrenamiento suficiente.
- Establecimiento de criterios de aceptación basados en valor.
- Algoritmos y modelos “comprensibles”.
- Monitorización y alertas como un producto o como un servicio.

El establecimiento de una estrategia predictiva puede aportar valor a nuestra planta, reduciendo intervenciones innecesarias y evitando incidentes costosos de reparar o que afecten a la generación, las emisiones o la seguridad de la instalación.

Sin embargo, el camino hacia la predicción valiosa no es trivial y debe asumirse con cautelas y entendiendo en cada momento el impacto de las decisiones que tomamos al ajustar el sistema.

Probablemente lo más razonable sea admitir esquemas mixtos donde los esquemas de mantenimiento estén adaptados a la criticidad de los equipos, su impacto en la seguridad y emisiones y a su historia previa de mantenimiento e incidentes. ■