

Análisis del Mercado de **Big Data** en Mantenimiento Predictivo Industrial en el NOA

El presente informe examina el **mercado de análisis de grandes volúmenes de datos aplicados al mantenimiento predictivo industrial** en la región del **Noroeste Argentino (NOA)**, abarcando las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca y Santiago del Estero. Se abordan cinco ejes principales: **(1)** empresas locales proveedoras de soluciones, **(2)** demanda actual y futura, **(3)** oportunidades de negocio (brechas de mercado, políticas e inversiones), **(4)** disponibilidad de talento humano calificado, y **(5)** tecnologías predominantes en la región para mantenimiento predictivo basado en datos. Cada sección se sustenta con datos y fuentes confiables, incluyendo informes gubernamentales, cámaras industriales, estudios sectoriales y publicaciones académicas.

1. Empresas locales proveedoras de soluciones de mantenimiento predictivo en el NOA

En el NOA ha surgido un ecosistema incipiente de empresas especializadas en **mantenimiento predictivo industrial**, incluyendo tanto filiales de compañías tecnológicas nacionales/internacionales como pymes locales de servicios de ingeniería. Por ejemplo, **Siemens Argentina** –a través de su sede regional– ha implementado soluciones de **mantenimiento predictivo** en proyectos mineros de litio en la Puna, aprovechando tecnologías digitales avanzadas para anticipar fallas y optimizar operaciones[1]. Estas iniciativas se enmarcan en la estrategia de “minería inteligente” para aumentar la productividad y sostenibilidad de los yacimientos del “triángulo del litio” (Salta-Jujuy-Catamarca)[2].

Junto a los actores globales, existen firmas nacionales líderes que están expandiendo su presencia regional. Un caso destacado es **SEMAPI**, pionera argentina con 40 años de trayectoria en el desarrollo de equipamiento y servicios de diagnóstico de máquinas mediante análisis de vibraciones. SEMAPI fue **la primera empresa del país en fabricar tecnología propia para mantenimiento predictivo**, exportando incluso sus productos, y recientemente ha extendido operaciones a nuevos mercados internos[3][4]. Si bien su base principal está en Buenos Aires, su modelo de vinculación con proveedores locales sugiere una potencial llegada también al NOA, dada la concentración de industrias mineras y agroindustriales en la región.

En cuanto a **empresas originarias del NOA**, varias firmas de ingeniería y tecnología ofrecen soluciones aplicadas de análisis de datos y monitoreo industrial. En *Tucumán*, por ejemplo, compañías de servicios industriales como **CEMYA SRL** atienden a ingenios azucareros, citrícolas y plantas energéticas de la región, brindando mantenimiento **preventivo/predictivo** con instrumentos modernos (análisis de vibraciones, termografía infrarroja, control de variables eléctricas, etc.)

según reportes de proyectos ejecutados en ingenios de Tucumán, Jujuy y Salta[5][6]. Del mismo modo, firmas tecnológicas tucumanas integradas en el Clúster Tecnológico local están incursionando en soluciones Industria 4.0; por caso, la empresa **Hi Fenix** (antes “High Flight Software”) se destaca por desarrollos de *software* con inteligencia artificial, y aunque enfoca en chatbots y automatización empresarial, forma parte del ecosistema innovador que potencialmente puede diversificarse hacia aplicaciones de mantenimiento predictivo[7][8].

Cabe mencionar que algunas **startups argentinas de análisis predictivo** distribuyen sus plataformas en todo el país, incluyendo el NOA, a través de la nube. Tal es el caso de **Terative**, una plataforma SaaS de mantenimiento predictivo (Google Cloud Partner) desarrollada por ingenieros argentinos[9]. Si bien Terative tiene sede en Buenos Aires, sus soluciones se implementan de forma remota en plantas industriales de cualquier provincia. De hecho, la compañía Hitec comercializa el *sistema Terative*® integrando sensores y análisis para monitoreo en tiempo real de activos industriales, con despliegues posibles en entornos locales sin requerir presencia continua de especialistas externos[10][11]. La disponibilidad de estas plataformas abre la puerta a que industrias del NOA contraten servicios de **análisis de Big Data para mantenimiento predictivo** provistos desde fuera de la región pero aplicados localmente.

En síntesis, el NOA cuenta con **proveedores locales y nacionales** que ofrecen soluciones de mantenimiento predictivo basadas en datos para los sectores clave: minería (p. ej., monitoreo de equipos en minas de litio), agroindustria (ingenios azucareros, bodegas, cítrícolas), energía (centrales y redes eléctricas) y manufactura general. No obstante, el mercado aún es pequeño y en desarrollo, con espacio para la radicación de más empresas especializadas en Big Data industrial.

2. Demanda actual y proyectada de servicios de Big Data para mantenimiento predictivo

La demanda de análisis de datos aplicado al mantenimiento predictivo está en rápido crecimiento, tanto a nivel global como en Sudamérica, tendencia que también alcanza al NOA. Según proyecciones recientes, *el mercado sudamericano de mantenimiento predictivo* (incluyendo *software* y servicios de análisis) **crecerá de USD 371,5 millones en 2022 a USD 1.478,3 millones en 2028**, lo que implica una elevada tasa compuesta anual de 25,9%[12]. Este crecimiento sostenido se atribuye a la incorporación de tecnologías de **Internet de las Cosas (IoT)** e **Inteligencia Artificial (IA)** en los procesos industriales, facilitando la implementación del mantenimiento predictivo en los próximos años[13]. En efecto, la proliferación de sensores IoT en fábricas y operaciones extractivas está generando grandes volúmenes de datos que necesitan ser analizados para predecir fallas; a su vez, algoritmos de IA/ML (aprendizaje automático) permiten convertir esos datos en alertas útiles y decisiones automatizadas para programar intervenciones de mantenimiento[13].

En el **NOA**, diversos factores impulsan la demanda actual y futura de estos servicios de Big Data enfocados en mantenimiento:

- **Expansión de la minería y energía:** La región experimenta un boom minero, especialmente en litio, cobre y otros proyectos metalíferos[14][15]. Estas operaciones intensivas en capital requieren maximizar la disponibilidad de equipos críticos en ubicaciones remotas. Las empresas mineras están comenzando a adoptar mantenimiento predictivo para aumentar la **eficiencia y uptime** de sus activos. Voceros del sector señalan que, en proyectos de litio del norte argentino, ya se están utilizando **plataformas de monitoreo inteligente** para prever fallas en sistemas de bombeo e infraestructura vital, evitando paradas no planificadas[16]. Con decenas de nuevos emprendimientos mineros previstos hacia 2030 en Salta, Jujuy y Catamarca, se proyecta una demanda creciente de soluciones predictivas que mejoren la confiabilidad operativa.
- **Modernización agroindustrial:** Tucumán es un polo agroindustrial (primero nacional en azúcar y limón) y Salta/Jujuy destacan en tabaco, azúcar y vitivinicultura. Estas industrias tradicionales están incorporando gradualmente técnicas de mantenimiento basadas en datos para sus plantas y maquinaria agrícola. Por ejemplo, ingenios azucareros tucumanos aplican análisis de vibraciones en turbinas y reductores para planificar recambios durante la zafra, y grandes productores cítricos monitorean en tiempo real sus líneas de empaque para evitar tiempos muertos en plena cosecha[5][17]. Se espera que la **demandas de análisis predictivo en agroindustria** aumente, impulsada por la necesidad de reducir costos y la disponibilidad de sensores más accesibles (por ejemplo, telemetría en cosechadoras, monitoreo de condiciones en calderas y centrifugas de ingenios, etc.).
- **Sector energético y manufactura:** La transición energética en Jujuy (proyectos solares Cauchari y otros) y parques solares/eólicos en Salta y Catamarca introducen equipamientos que requieren **mantenimiento 4.0**. A nivel nacional, empresas de energía como Enel comenzaron a implementar plataformas digitales de mantenimiento predictivo en centrales de generación, incluyendo Argentina[18]. En el NOA, la distribuidora eléctrica *EJESA* (Jujuy) y *EDESA* (Salta), así como transportistas de gas y operadores de **oleoductos/ductos**, muestran interés en sistemas predictivos para anticipar fallas en redes y estaciones compresoras, lo que sugiere un nicho creciente. Asimismo, las industrias manufactureras regionales (pymes metalmecánicas, alimenticias, textiles) tienden a adoptar soluciones en la nube “*as a service*” para mantenimiento, más accesibles que grandes paquetes de software.

En términos cuantitativos regionales, no se dispone de estadísticas desagregadas de mercado del NOA. Sin embargo, extrapolando las tendencias sudamericanas y nacionales, es plausible que la **tasa de adopción de mantenimiento predictivo en**

industrias del NOA experimente un fuerte aumento en los próximos 5 años. Un estudio internacional halló que ya **81% de las empresas industriales** están dedicando tiempo y recursos al mantenimiento predictivo a nivel global[18], lo que indica que esta práctica se está volviendo estándar. En Argentina, este auge tomó impulso tras la pandemia: a partir de 2021 se observó un incremento de la inversión en mantenimiento predictivo como palanca competitiva (mejora de satisfacción de clientes y nuevos modelos de negocio “servitizados”)[18].

En resumen, la demanda en el NOA actualmente se concentra en grandes jugadores (mineras, ingenios, energéticas) pero se proyecta **una masificación gradual** hacia empresas medianas en todos los sectores industriales. Los próximos años verán un crecimiento acelerado en la contratación de servicios de análisis de datos predictivos, ya que las empresas locales buscan **reducir tiempos de inactividad no programados**, optimizar costos de mantenimiento y cumplir estándares internacionales de calidad y continuidad operacional.

3. Oportunidades de negocio: brechas de mercado, necesidades no cubiertas y apoyo público

Si bien el mantenimiento predictivo basado en datos gana terreno, **existen importantes brechas de mercado y oportunidades en el NOA** para nuevos emprendimientos y proyectos. Varias necesidades permanecen **parcialmente cubiertas**, lo que sumado a políticas públicas e inversiones planificadas configura un entorno propicio para negocios innovadores:

- **Baja penetración en PyMEs industriales:** Aún **predomina el mantenimiento reactivo o rutinario** en muchas fábricas y explotaciones medianas del NOA. Sectores tradicionales (pymes azucareras, molinos, bodegas artesanales, plantas manufactureras pequeñas) muestran rezago en la adopción de tecnologías 4.0[19]. Esta baja absorción de los avances digitales en gran parte del tejido productivo argentino representa una oportunidad para proveedores de soluciones “llave en mano” adaptadas a PyMEs[20][21]. Por ejemplo, podrían desarrollarse servicios tercerizados de monitoreo predictivo remoto a costos accesibles, o paquetes modulares de sensores + analítica orientados a empresas con poca capacidad interna de I+D. **Detectar estas oportunidades de leapfrogging** (salto tecnológico) en segmentos rezagados puede marcar la diferencia y abrir nuevos nichos de mercado[22].
- **Integración vertical en grandes industrias:** En minería y energía existen oportunidades para **soluciones especializadas por actividad**. Una brecha identificada es la falta de proveedores locales que integren datos de múltiples sistemas (geológicos, de proceso, mantenimiento) para predicciones holísticas. Iniciativas de **“gemelo digital”** ofrecen oportunidades: Siemens, por ejemplo, aplica gemelos digitales para simular procesos de evaporación en salares de litio, optimizando variables de operación y anticipando

problemas[23][1]. Desarrollar a nivel local *digital twins* o analíticas avanzadas adaptadas a minería y agro del NOA podría encontrar demanda latente. Asimismo, las empresas industriales grandes buscan cada vez más no solo alertas de falla sino modelos que les permitan **optimizar toda la cadena productiva**; esto abre espacio a startups de análisis predictivo que ofrezcan valor agregado (p.ej. optimización energética junto con mantenimiento).

- **Inversiones públicas y políticas de promoción:** Los gobiernos provinciales y nacional están impulsando la transformación digital y la economía del conocimiento, lo cual **favorece el desarrollo del mercado**. Tucumán marcó un hito al promulgar en 2023 la **Ley Provincial de Economía del Conocimiento**, creando condiciones óptimas (incentivos fiscales, financiamiento) para atraer inversiones tecnológicas y empleo calificado[24]. Gracias a esa política, en pocos años más de 50 empresas tech se consolidaron en Tucumán, generando 4.000 empleos y un crecimiento del 250% en el sector desde 2018[25]. Este marco legal –único en el NOA– posiciona a la provincia como hub tecnológico y puede facilitar la llegada de empresas de mantenimiento predictivo *data-driven* atraídas por beneficios impositivos. Por su parte, a nivel nacional la **Ley de Economía del Conocimiento** (prórroga 2020-2029) ofrece reducción de impuestos y apoyo a exportación de servicios, de lo cual pueden beneficiarse emprendimientos locales que exporten servicios de análisis de datos industriales. Adicionalmente, **programas público-privados** comienzan a focalizar en Industria 4.0: el Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación e instituciones como el INTI han lanzado convocatorias para digitalización de PyMEs, con subsidios para implementar IoT, sensórica y sistemas predictivos. Esto significa que empresas del NOA pueden acceder a financiamiento para incorporar estas tecnologías (un ejemplo es el programa “Industria 4.0 Federal” anunciado en 2022 con participación de provincias del norte).
- **Infraestructura e iniciativas regionales:** Otro impulsor es la mejora de la infraestructura digital. Directivos del Clúster Tecnológico señalan que para consolidar polos tecnológicos en el NOA es crucial invertir en **conectividad de Internet de alta calidad** en todo el territorio[26]. La expansión de redes de fibra óptica y 5G en la región, contemplada en planes nacionales de conectividad, permitirá que plantas industriales en localidades apartadas puedan transmitir datos masivos de sensores a la nube sin interrupciones. Esto habilitará la contratación de servicios *cloud* de mantenimiento predictivo incluso en zonas rurales o de montaña. Asimismo, provincias como **Tucumán y Salta están coordinando estrategias** conjuntas para potenciar la Economía del Conocimiento en el NOA[27]. Convenios interprovinciales e iniciativas como el programa federal “Insertar” (promoción del primer empleo tech) buscan generar más talento y atraer empresas tecnológicas a la región[28], lo

cual en el mediano plazo aumentará la oferta local de servicios especializados, incluyendo análisis de Big Data industrial.

En conclusión, el panorama presenta **áreas desatendidas que constituyen oportunidades de negocio**: la digitalización pendiente de muchas PyMEs, la necesidad de soluciones verticales innovadoras en sectores claves, y el acompañamiento de políticas públicas e inversiones que reducen barreras de entrada. Empresas y emprendedores que sepan alinear sus propuestas a las **necesidades no cubiertas** (monitoreo remoto para industrias alejadas, paquetes predictivos asequibles, etc.) y aprovechen los incentivos disponibles podrán posicionarse ventajosamente en el mercado NOA de mantenimiento predictivo en los próximos años.

4. Disponibilidad de mano de obra calificada en la región NOA

El éxito en la implementación de soluciones de mantenimiento predictivo basadas en datos depende en gran medida de **contar con talento humano calificado**: ingenieros, analistas de datos, técnicos en IoT, especialistas en IA, etc. Evaluamos la **disponibilidad de mano de obra en el NOA** considerando la oferta educativa (universidades y centros de formación), el número de egresados y las capacidades requeridas.

Formación universitaria y técnica: La región cuenta con numerosas instituciones educativas que proveen profesionales en campos vinculados. Tucumán destaca por tener *cinco universidades* de excelencia (públicas y privadas) además de escuelas de programación reconocidas, lo cual asegura un flujo constante de graduados competentes para el mercado tecnológico[29]. Entre ellas se incluyen la **Universidad Nacional de Tucumán (UNT)** con carreras de Ingeniería Electrónica, Industrial, en Computación, Mecánica, etc.; la **Universidad Tecnológica Nacional (UTN)** – Facultades Regionales en Tucumán, Salta, etc. – que forma ingenieros en Sistemas y electrónicos; universidades privadas como la UNSTA y la U. San Pablo-T; y sedes locales de institutos como el **CONICET** con posgrados en ciencias de datos e inteligencia artificial. En Salta, Jujuy, Santiago y Catamarca también operan universidades nacionales (UNSa, UNJu, UNCa, UNSE) con carreras de ingeniería, TIC y tecnicaturas específicas (por ejemplo, la Universidad Nacional de Jujuy lanzó una Tecnicatura en Internet de las Cosas orientada a la minería y agricultura de precisión). Cada año, estas casas de estudio gradúan cientos de ingenieros y licenciados que constituyen la base de talento local.

Escuelas de código y capacitación específica: Además de la vía universitaria, en el NOA surgieron centros de formación técnica acelerada en programación, ciencia de datos y habilidades 4.0. En Tucumán, por ejemplo, operan academias como **Rolling Code** y **Global Learning**, que se han convertido en referentes en enseñanza de programación y disciplinas digitales en la región[30]. Estas instituciones ofrecen *bootcamps* y cursos intensivos en desarrollo de software, análisis de datos, machine

learning, etc., orientados tanto a jóvenes como a profesionales que buscan reconversión. Gracias a ello, un número creciente de técnicos programadores y analistas de datos se incorporan al mercado laboral local sin pasar por carreras de grado tradicionales. Iniciativas similares existen en Salta (por ejemplo, el programa provincial SaltaTec de capacitación) y Jujuy (centros de formación en robótica e IA apoyados por el gobierno provincial). El INTI e INTA también brindan cursos cortos en mantenimiento industrial 4.0 y agrotech respectivamente[31], complementando la oferta educativa.

Capacidades requeridas y perfil de egresados: Un profesional apto para implementar soluciones de mantenimiento predictivo con Big Data típicamente combina conocimientos de **ingeniería (mecánica, eléctrica o industrial)** con habilidades en **análisis de datos y programación**. Debe entender tanto el funcionamiento de equipos físicos (motores, bombas, turbinas) como manejar herramientas de software (base de datos, algoritmos de pronóstico). Cada vez más se valoran perfiles híbridos: ingenieros con maestrías/cursos en ciencia de datos o data scientists con formación en procesos industriales. En el NOA, la sinergia entre academia y empresas ha favorecido la formación de estos perfiles. De hecho, el crecimiento del sector tecnológico en Tucumán impulsó que muchas de las **contrataciones en empresas tech locales provengan de jóvenes formados en las universidades de la región**, con dominancia de especialidades como desarrollo *software*, análisis de datos y QA[32][33]. Los **perfiles técnicos más demandados** en Tucumán incluyen desarrolladores (25% del total), analistas QA (15%), analistas de datos, etc., según relevamientos recientes[34]. Esto indica que existe una base de profesionales en disciplinas afines a Big Data, si bien no todos están especializados en mantenimiento industrial.

En números concretos, Tucumán reporta **más de 4.000 empleos en la industria del conocimiento** (software, servicios tecnológicos) en 2024[35], muchos de ellos ocupados por egresados locales. Se espera que esta cifra escale a 10.000 empleos en 2030[36]. En Salta, Jujuy y Santiago, aunque el sector es más pequeño, también ha crecido la demanda de talentos TIC, incentivando a universidades a abrir nuevas carreras (p.ej. Ing. en Computación en UNJu) y a gobiernos a lanzar becas de programación. Un indicador de la **capacidad técnica disponible** es que en el Clúster Tecnológico de Tucumán **más del 40% de las nuevas contrataciones son mujeres profesionales**[37], lo que refleja la diversificación y amplitud del talento formado.

Desafíos y acciones en marcha: A pesar de estos avances, existen desafíos. Un estudio de CIPPEC remarca que Argentina en general enfrenta una **baja capacidad de absorción de los últimos avances digitales**, en parte por escasez de ciertas habilidades avanzadas[19]. Las empresas señalan dificultades para cubrir puestos altamente especializados (por ej., científicos de datos industriales, ingenieros de confiabilidad con expertise en IA). Para abordar esto, se proponen políticas de formación continua y reconversión laboral: incentivar programas de *lifelong learning* para ingenieros en ejercicio, actualización de currículos universitarios incorporando

más ciencia de datos, y creación de pasantías en fábricas para estudiantes, entre otras medidas[38][39]. En el NOA ya se observa una alineación a estas recomendaciones; por ejemplo, **la UNT lanzó en 2023 el Programa “Eureka”** para vincular estudiantes con proyectos científico-tecnológicos productivos[27], y **Tucumán y Salta acordaron estrategias educativas conjuntas** para fomentar vocaciones TIC en jóvenes[28]. Estas iniciativas, sumadas a la creciente oferta privada de cursos, apuntan a asegurar que la mano de obra local pueda satisfacer la demanda futura.

En síntesis, la **disponibilidad de talento en el NOA** es hoy razonable en cantidad y buena en calidad, especialmente en Tucumán, aunque será necesario seguir ampliándola. La región forma cada año profesionales capacitados, pero ante el acelerado desarrollo del mantenimiento predictivo (que combina varias disciplinas), será crítico **actualizar las habilidades** de la fuerza laboral. La combinación de una base educativa sólida más políticas de capacitación e incentivos al empleo tecnológico brindan un panorama optimista para que el NOA cuente con el **capital humano** necesario para sostener el crecimiento de las soluciones de Big Data e Industria 4.0.

5. Tecnologías predominantes en el mantenimiento predictivo basado en datos en el NOA

Las **tecnologías empleadas actualmente en la región NOA** para habilitar el mantenimiento predictivo reflejan las tendencias globales de la Industria 4.0, adaptadas a las particularidades locales. A continuación, se describen las principales herramientas y enfoques técnicos que sustentan estas soluciones:

- **Sensores IoT y dispositivos de monitoreo:** La base del mantenimiento predictivo es la **captura continua de datos** de los activos. En la región se utilizan sensores industriales para medir variables clave: **vibraciones mecánicas, temperatura, presión, caudal, corriente eléctrica, humedad**, entre otras. Por ejemplo, en ingenios azucareros se instalaron acelerómetros en turbinas para detectar desbalances, y sensores de temperatura en cojinetes de molinos. En minería, se emplean sensores de vibración y ultrasonido en bombas y motores de camiones para anticipar desgastes[40]. Estos sensores suelen estar conectados a través de redes cableadas (Ethernet industrial) o inalámbricas robustas (WiFi industrial, LPWAN) y envían datos en tiempo real. Una innovación es el uso de **sensores no invasivos** – como los desarrollados en el sistema Terative– que se montan fácilmente sin alterar los equipos, evitando tener que detener máquinas para su instalación[41]. También hay casos de **sensores avanzados**: cámaras termográficas para monitorear puntos calientes (empleadas en tableros eléctricos y subestaciones) o detectores de emisión acústica para identificar fisuras en tanques.

- **Internet de las Cosas Industrial (IIoT) y conectividad:** Los sensores se integran en plataformas IIoT. Muchas plantas del NOA están adoptando **arquitecturas IoT** donde los datos de múltiples sensores se concentran en **dispositivos de borde** (*edge devices* o gateways). Por ejemplo, el sistema Terative incluye el componente **teBox**[®] –una unidad de procesamiento al pie de máquina– con capacidad de computación local y conexión PoE/Ethernet[42]. Estos edge devices preprocesan señales de alta velocidad (vibraciones, pulsos) y pueden aplicar filtros o cálculos iniciales. Luego transmiten los datos relevantes a servidores locales o a la **nube** para su análisis más profundo[11]. La conectividad en plantas del NOA suele lograrse vía redes LAN industriales o enlaces 4G dedicados en sitios remotos (minas en la Puna). En entornos difíciles (ej. yacimientos a gran altitud), se han utilizado incluso enlaces satelitales para asegurar la transmisión de datos de monitoreo a centros de control fuera de la provincia.
- **Plataformas de Cloud Computing y Big Data:** Una vez recolectados, los datos masivos de condición son almacenados y procesados en plataformas en la nube. Las soluciones implementadas en la región emplean tanto nubes públicas (Azure, AWS, Google Cloud) como nubes privadas de las empresas. La **analítica de Big Data** permite manejar históricos voluminosos de mediciones para extraer tendencias y patrones. Por ejemplo, en Terative la **plataforma cloud** muestra al operador gráficos de tendencia de todas las variables monitoreadas (vibración, temperatura, corriente, humedad, etc.), integrando los datos en paneles de fácil visualización[43][11]. Estas plataformas suelen incorporar bases de datos de series temporales optimizadas para datos de sensores, y herramientas de dashboards en tiempo real. En algunos casos, se integran con los sistemas SCADA preexistentes de la planta para obtener una visión unificada.
- **Inteligencia Artificial y Análisis Predictivo:** Sobre la infraestructura de datos, se aplican algoritmos de **machine learning** y modelos estadísticos para predecir fallas. Esta es el área de mayor valor añadido: mediante IA se analizan simultáneamente múltiples variables de un equipo para detectar *anomalías* sutiles o patrones que preceden a una avería. En minería de litio del NOA, por ejemplo, **algoritmos de aprendizaje automático** procesan enormes volúmenes de datos de bombas, válvulas y sistemas de evaporación, identificando cambios de comportamiento que anuncian una posible falla[44][16]. Cuando el modelo predice que un parámetro sale de rango normal (ej.: aumento de vibración en un rodamiento), se genera una **alerta predictiva**. Las IA empleadas incluyen desde análisis de tendencias con umbrales dinámicos, hasta redes neuronales o modelos de **machine learning supervisado** entrenados con historial de fallas. Un reporte menciona que en el Triángulo del Litio ya se ven aplicaciones exitosas de estas tecnologías, donde operadores pudieron **intervenir a tiempo** evitando detenciones y

prolongando la vida útil de equipos críticos gracias al análisis de datos en tiempo real[45][16].

- **Gemelos digitales (digital twins):** Si bien incipiente, esta tecnología comienza a usarse en la región para mantenimiento predictivo avanzado. Un **gemelo digital** es una réplica virtual detallada de un proceso o equipo físico, que permite simular su comportamiento bajo distintas condiciones. Siemens ha introducido gemelos digitales en los proyectos de litio del norte: por medio de su plataforma gProms modelan, por ejemplo, el proceso de evaporación solar en piletas, simulando temperaturas, concentraciones y clima, de modo de **prever problemas y optimizar la eficiencia** antes de que ocurran en la realidad[23][46]. Estos gemelos reciben datos en tiempo real de sensores de campo y a su vez alimentan algoritmos predictivos; así pueden anticipar el rendimiento futuro y recomendar ajustes proactivos (p.ej., modificar caudales de bombeo para evitar cuellos de botella)[47][48]. En industrias de procesos continuos (como química o alimento) del NOA, esta herramienta aún es nueva, pero representa una oportunidad para elevar el mantenimiento predictivo a un nivel de *optimización integral del proceso*.
- **Tecnologías complementarias:** Otras herramientas en uso incluyen la **termografía infrarroja** (cámaras térmicas portátiles o fijas para detección de puntos calientes en motores, líneas eléctricas, hornos, etc.), el **análisis de aceites lubricantes** (técnicas de Big Data correlacionando resultados de laboratorios de aceite con condiciones operativas, para predecir desgaste interno), **pruebas eléctricas inteligentes** (equipos de medición conectados que registran continuamente parámetros de motores/transformadores) y **ensayos no destructivos digitalizados** (ultrasonido, partículas magnéticas cuyos datos se registran y analizan estadísticamente para ver evolución de grietas). Un aspecto importante es la **ciberseguridad industrial**, ya que con la creciente conectividad, las instalaciones del NOA están adoptando enfoques de seguridad “Zero Trust” y protecciones integrales para resguardar los datos de sensores y sistemas de control[49][50]. Las empresas como Siemens implementan firewalls industriales y monitoreo contra intrusiones en estos entornos remotos, entendiendo que la confiabilidad del mantenimiento predictivo también depende de la seguridad de la infraestructura digital[50].
- **Drones e inspección remota:** Una tendencia tecnológica de mantenimiento predictivo que está llegando a la región es el uso de **drones equipados con sensores** para monitorear infraestructura distribuida. En sectores de energía convencional y renovable, se emplean drones con cámaras termográficas y visuales para inspeccionar líneas de alta tensión, parques solares y aerogeneradores[51]. Estos drones pueden detectar incrementos de temperatura, vibraciones anómalas o daños estructurales incipientes en lugares de difícil acceso, enviando esa información a los sistemas de análisis. En Jujuy, con su vasta planta solar en la Puna, esta tecnología se vislumbra

muy útil para vigilar paneles y estaciones sin requerir personal en campo permanente. **Los principales proveedores de servicios de mantenimiento predictivo están adoptando rápidamente el monitoreo con drones**, dada su eficacia, y se espera que en el futuro cercano sea parte integral del mantenimiento remoto en el NOA[51].

En conclusión, el **arsenal tecnológico** para mantenimiento predictivo en el NOA incluye: **sensores IoT robustos, redes de datos industriales, computación en la nube, Big Data e IA, analítica prescriptiva, gemelos digitales, y herramientas de inspección remota**. Esta convergencia tecnológica permite materializar el concepto de “*mantenimiento 4.0*”, donde los sistemas físicos y digitales están integrados para anticipar las necesidades de mantenimiento[52]. Gracias a ello, las industrias de la región pueden **reducir costos, evitar fallos sorpresivos y mejorar la confiabilidad** de sus operaciones[53]. El desafío hacia adelante será profundizar la adopción de estas tecnologías en más empresas del NOA y formar el talento local para administrarlas eficientemente, consolidando así una **ventaja competitiva regional basada en datos y conocimiento**.

Fuentes consultadas: Gobierno de Argentina (Ministerio de Desarrollo Productivo, Argentina.gob.ar), Banco Mundial (informe sobre corredores económicos NOA), Clúster Tecnológico Tucumán (artículos y estadísticas sectoriales)[25][35], entrevistas en *Salta Mining* a referentes de Siemens Argentina[1][45], reportes de mercado de Business Market Insights[12][13], publicaciones de CIPPEC sobre Industria 4.0[20][21], portal ProMendoza (caso SEMAPI)[3], y sitios de empresas tecnológicas (Hitec/Terative)[10][11], entre otros. Todas coinciden en el **potencial creciente del mantenimiento predictivo data-driven** en el NOA, impulsado por la combinación de inversiones industriales, políticas de conocimiento y la progresiva disponibilidad de profesionales y tecnologías en la región.

[1] [2] [16] [23] [40] [44] [45] [46] [47] [48] [49] [50] [53] Josa Scorza: "La IA y el análisis de datos están mejorando la productividad en la minería de litio"

<https://saltamining.com/contenido/6072/josa-scorza-la-ia-y-el-analisis-de-datos-estan-mejorando-la-productividad-en-la->

[3] [4] Empresa de mantenimiento predictivo industrial llegó a Mendoza – ProMendoza

<https://www.promendoza.com/es/empresa-de-mantenimiento-predictivo-industrial-llego-a-mendoza-2/>

[5] [6] [17] Obras y Servicios – CEMYA

<https://cemyasrl.com.ar/servicios/>

[7] [8] Startup Hi Fenix de Tucumán lidera con inteligencia artificial

<https://clustertucuman.org.ar/startup-inteligencia-artificial/>

[9] Predictive maintenance platform SaaS -

<https://terative.com.ar/en/terative-predictive-maintenance-platform/>

[10] [11] [41] [42] [43] Mantenimiento predictivo | Hitec

<https://hitec.com.ar/en/mantenimiento-predictivo/>

[12] [13] [18] [51] Mercado de mantenimiento predictivo en Sudamérica: Perspectivas según análisis global y regional - Pronóstico hasta 2028

<https://www.businessmarketinsights.com/spain/reports/south-america-predictive-maintenance-market>

[14] [15] World Bank Document

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099100923161014616/pdf/P17940301690e70200a800002036794540c.pdf>

[19] [20] [21] [22] [38] [39] Necesitamos políticas que estimulen la adopción de tecnologías 4.0 y preparen a los trabajadores a interactuar con ellas

<https://www.cippeec.org/textual/necesitamos-politicas-que-estimulen-la-adopcion-de-tecnologias-4-0-y-preparen-a-los-trabajadores-a-interactuar-con-ellas/>

[24] [25] [29] [35] [36] [37] Cómo Tucumán se convirtió en un modelo nacional de la Economía del Conocimiento: Más de 4.000 empleos y oportunidades globales - Clúster Tecnológico Tucumán

<https://clustertucuman.org.ar/tucuman-economia-del-conocimiento-noa/>

[26] [27] [28] [30] "Para ser polo tecnológico del NOA, hace falta una buena inversión en conectividad a Internet" - Norte Económico

https://www.norteeconomico.com.ar/innovacion/-para-ser-polo-tecnologico-del-noa--hace-falta-una-buena-inversion-en-conectividad-a-internet-_a652464e2565d59b9176d0c2f

[31] Oferta de Capacitaciones - Instituto Nacional de Tecnología Industrial

<https://www.inti.gob.ar/capacitaciones/buscador>

[32] [33] [34] Mercado tech en Tucumán 2025 - Talentos y oportunidades - Clúster Tecnológico Tucumán

<https://clustertucuman.org.ar/mercado-tech-tucuman-talento-oportunidades/>

[52] Mantenimiento predictivo e Industria 4.0 impulsados por IA

<https://dataknow.io/mantenimiento-predictivo-e-industria-4-0-impulsados-por-ia/>