



UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUYO.

FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y EMPRESARIALES.

TITULO:

“ Industrias 4.0; el camino a una nueva era”.

Aplicación, desafíos y oportunidades en las Pymes Industriales
Argentinas

Alumno: Joaquín Bridge.

Director de tesis: Ariel Zabala Barifusa.

San Juan, Argentina.

2026.

Nota :

Trabajo Final Aprobado

Nombres y Firmas de los miembros del Tribunal de Trabajo Final.

.....

.....

.....

FIRMA DEL ALUMNO

CONSIDERACIONES ESPECIALES

AGRADECIMIENTOS

La transformación, tanto en las organizaciones como en las personas, es el resultado de un proceso sostenido de aprendizaje, esfuerzo y adaptación. En ese sentido, este trabajo final representa no solo la culminación de una etapa académica, sino también un recorrido de crecimiento personal y profesional.

Deseo expresar, en primer lugar, mi más sincero agradecimiento a mi familia, por su acompañamiento permanente a lo largo de toda mi formación universitaria. Su apoyo incondicional, su paciencia y su confianza fueron fundamentales para sostenerme en los momentos de mayor exigencia y para impulsarme a continuar hasta alcanzar esta meta. Su presencia fue un pilar esencial en este proceso.

A mis amigos, por el acompañamiento, el aliento y la contención brindados durante esta etapa. Su cercanía y apoyo tuvieron un valor especial a lo largo del recorrido, especialmente en aquellos momentos en los que las responsabilidades académicas y personales demandaron un esfuerzo mayor. Haber contado con personas que estuvieron presentes y supieron acompañar este proceso fue, sin duda, una fortaleza importante.

Asimismo, agradezco a todas las personas que, directa o indirectamente, contribuyeron a mi formación y al desarrollo de este trabajo. Cada experiencia compartida, cada intercambio y cada aprendizaje adquirido a lo largo de estos años aportaron valor a mi crecimiento académico y profesional.

Quiero agradecer especialmente a **Nutriterra S.A.**, empresa que no solo forma parte de mi desarrollo profesional, sino que también hizo posible abordar esta investigación desde una perspectiva concreta, real y cercana a los desafíos actuales del sector industrial. La posibilidad de analizar su experiencia, sus procesos y su evolución frente a los cambios tecnológicos aportó un valor fundamental a este trabajo, permitiéndome vincular los conocimientos académicos con una realidad empresarial específica. En este sentido, Nutriterra no solo constituyó el caso de estudio de esta tesis, sino también una fuente permanente de aprendizaje, reflexión y proyección hacia el futuro.

Finalmente, valoro especialmente la posibilidad de haber desarrollado esta investigación en torno a una temática de gran relevancia para el presente y el futuro de las organizaciones, como lo es la Industria 4.0 y su aplicación en las PyMEs industriales argentinas. Concluir esta etapa mediante este trabajo final representa una satisfacción personal y académica, y al mismo tiempo reafirma la importancia de la dedicación, la constancia y el compromiso en la construcción de objetivos de largo plazo.

Índice

RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN.....	8
Capítulo 1: Industria 4.0: fundamentos teóricos, tecnológicos y organizacionales	10
1.1 Marco Teórico: Industria 4.0 en las PYMEs industriales argentinas	10
1.2 Evolución histórica de la Industria 1.0 a la 4.0	11
1.3 Concepto y características de la Industria 4.0	13
1.4 Tecnologías clave de la Industria 4.0.....	16
1.5 Innovación, cambio organizacional y empresas familiares en la era 4.0.....	18
1.6 Gestión del cambio organizacional.....	19
1.7 Ejemplos de aplicación de tecnologías 4.0 en empresas reales	20
1.8 Hacia un marco conceptual integrador	21
1.8.1 Ecosistemas institucionales para la transformación digital de las PyMEs: el caso de RUTA X en Argentina	33
Capítulo 2: La industria 4.0 como modelo productivo basado en datos, integración y flexibilidad.....	37
2.1 Introducción conceptual: la Industria 4.0 como nueva era productiva	37
2.2 La Industria 4.0 como cambio de paradigma industrial y empresarial.....	39
2.3 Fundamentos estructurales del modelo Industria 4.0	43
2.3. Integración y digitalización de los procesos productivos	44
2.3.1 Interconexión y sistemas ciberfísicos	45
2.3.2 Flexibilidad, personalización y eficiencia operativa	46
2.4 La centralidad de los datos en la Industria 4.0	47
2.4.1 Los datos como nuevo factor productivo.....	48
2.4.2 Big Data y analítica como soporte de la toma de decisiones.....	49
2.4.3 De la gestión reactiva a la gestión predictiva	50
2.4.4 Evidencia empírica y datos estadísticos sobre el impacto del uso de datos	51
2.4.5 Los datos como nexo entre tecnología, procesos y personas.....	52
2.5 Tecnologías habilitantes y su aplicación en empresas reales	53
2.5.1 Internet de las Cosas (IoT) y automatización inteligente	53
2.5.2 Inteligencia artificial y analítica avanzada	54
2.5.3 Sistemas de información integrados y plataformas digitales	55
2.5.4 Evidencia empírica sobre la adopción de tecnologías 4.0.....	56
2.5.5 Tecnologías como medios y no como fines.....	57
2.6 Industria 4.0, gestión empresarial y competitividad	58
2.6.1 Impacto de la Industria 4.0 en la estrategia empresarial	58
2.6.2 Control de gestión y toma de decisiones basada en datos	59
2.6.3 Nuevas fuentes de ventaja competitiva en la era 4.0	60
2.6.4 Implicancias para la gestión en PYMEs industriales	60
2.6.5 La Industria 4.0 como herramienta estratégica de largo plazo	61
2.7 La Industria 4.0 en las PYMEs industriales: una caracterización específica. 62	
2.8 Síntesis conceptual y definición operativa de la Industria 4.0	64

Capítulo 3: Análisis del proceso de transformación digital en una PyME industrial Argentina: el caso de Nutriterra S.A.	66
3.1 Presentación de la empresa Nutriterra S.A.	66
3.2 Metodología de análisis del caso	68
a) Observación directa de procesos	69
b) Análisis de documentación interna	69
c) Entrevistas semiestructuradas	69
3.3 Situación actual de Nutriterra S.A. frente a la Industria 4.0	71
3.3.1 Sistemas de información y grado de digitalización de los procesos.....	71
3.3.2 Nivel de automatización de los procesos productivos	74
3.3.3 Gestión de datos, trazabilidad y avances hacia soluciones IoT	76
3.4 Análisis del grado de preparación de Nutriterra S.A. para la adopción de la Industria 4.0	78
Capítulo 4: Condiciones clave para una implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares	83
4.1 Introducción del capítulo	83
4.2 Marco conceptual: condiciones habilitantes para la Industria 4.0 en PYMEs familiares	85
4.3 Condiciones organizacionales y culturales para la implementación de la Industria 4.0 en PYMEs familiares	87
4.4 Condiciones tecnológicas para la implementación de la Industria 4.0 en PYMEs familiares	91
4.5 Condiciones económicas y de gestión de inversiones para la adopción de la Industria 4.0 en PYMEs familiares	95
4.6 Síntesis y modelo de condiciones clave para la implementación de la Industria 4.0 en PYMEs familiares	98
Conclusiones generales de la investigación	102
Aportes del estudio y contribuciones a la práctica empresarial	104
Recomendaciones para la implementación de la Industria 4.0 en PYMEs familiares	105
Líneas futuras de investigación	106
Bibliografía	108

RESUMEN

La Industria 4.0 representa un cambio de paradigma en los sistemas productivos, caracterizado por la integración de tecnologías digitales, el uso intensivo de datos y la interconexión de procesos. En este contexto, las pequeñas y medianas empresas industriales enfrentan el desafío de adaptarse a un entorno cada vez más competitivo, donde la digitalización se convierte en un factor clave para la eficiencia y la competitividad.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la aplicación de los principios de la Industria 4.0 en una PyME industrial argentina, identificando los principales desafíos, oportunidades y condiciones necesarias para su implementación efectiva. Para ello, se adopta un enfoque metodológico basado en el análisis documental, la observación directa y la realización de entrevistas semiestructuradas, tomando como caso de estudio a la empresa Nutriterra S.A.

A partir del desarrollo del marco teórico y del análisis empírico, se observa que la adopción de tecnologías 4.0 en PyMEs no responde a un proceso lineal, sino que se desarrolla de manera gradual y condicionada por factores organizacionales, tecnológicos y económicos. En este sentido, la transformación digital no depende únicamente de la incorporación de tecnología, sino de su integración estratégica en los procesos y en la cultura organizacional.

El estudio concluye que las PyMEs industriales que logran avanzar en la implementación de la Industria 4.0 son aquellas que combinan una visión estratégica de largo plazo, una adecuada gestión del cambio organizacional y una adopción progresiva de tecnologías orientadas a la mejora de procesos. Asimismo, se identifican condiciones clave que facilitan este proceso, como el desarrollo de capacidades internas, el acceso a financiamiento y la articulación con el entorno institucional.

De esta manera, el trabajo aporta una comprensión integral del fenómeno de la Industria 4.0 en el contexto de las PyMEs industriales argentinas, ofreciendo herramientas conceptuales y prácticas para su implementación.

INTRODUCCIÓN

La transformación digital de los sistemas productivos constituye uno de los fenómenos más relevantes en el contexto económico y empresarial actual. En este marco, la denominada Industria 4.0 emerge como un nuevo paradigma que redefine la forma en que las organizaciones industriales producen, gestionan información y generan valor. La integración de tecnologías digitales, el uso intensivo de datos y la interconexión de procesos plantean desafíos significativos, especialmente para las pequeñas y medianas empresas (PyMEs) industriales, que deben adaptarse a un entorno cada vez más competitivo y dinámico.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la aplicación de los principios de la Industria 4.0 en una PyME industrial argentina, identificando los principales desafíos, oportunidades y condiciones necesarias para su implementación efectiva, a partir del estudio de caso de Nutriterra S.A.

En el **Capítulo 1**, se desarrolla el marco teórico de la investigación, abordando los fundamentos conceptuales de la Industria 4.0, su evolución histórica, las tecnologías habilitantes y su impacto en las organizaciones. Asimismo, se analizan las particularidades de las PyMEs industriales argentinas frente a este paradigma, incluyendo las principales barreras para su adopción, el rol del capital humano, las políticas públicas y los riesgos asociados a la transformación digital.

En el **Capítulo 2**, se profundiza en la Industria 4.0 como modelo productivo basado en datos, integración y flexibilidad. Se analizan los principios estructurales que sustentan este paradigma, el rol estratégico de la información y su impacto en la gestión empresarial. Además, se examina cómo la digitalización redefine las fuentes de ventaja competitiva y la toma de decisiones en las organizaciones industriales.

El **Capítulo 3** presenta el análisis del caso de estudio correspondiente a Nutriterra S.A., una PyME industrial argentina del sector de fertilizantes. Se describe la empresa, su estructura y sus procesos, y se evalúa su grado de

avance en la adopción de tecnologías 4.0, considerando aspectos como digitalización, automatización, gestión de datos y desarrollo de soluciones vinculadas a IoT.

En el **Capítulo 4**, se identifican las condiciones clave para la implementación efectiva de la Industria 4.0 en PyMEs familiares, integrando dimensiones organizacionales, tecnológicas y económicas. A partir del análisis teórico y del caso estudiado, se propone un modelo que permite comprender los factores críticos que facilitan o dificultan la transformación digital en este tipo de empresas.

Finalmente, se presentan las conclusiones generales y específicas de la investigación, los principales aportes del estudio y una serie de recomendaciones orientadas a la implementación de la Industria 4.0 en PyMEs industriales. Asimismo, se plantean posibles líneas futuras de investigación en la temática.

De este modo, el trabajo busca aportar una visión integral sobre la Industria 4.0, combinando el análisis conceptual con una aplicación práctica en el contexto de una empresa real, contribuyendo a la comprensión de este fenómeno en el ámbito de las PyMEs industriales argentinas.

Capítulo 1: Industria 4.0: fundamentos teóricos, tecnológicos y organizacionales

1.1 Marco Teórico: Industria 4.0 en las PYMEs industriales argentinas

La denominada Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 se refiere a la transformación digital avanzada de los procesos productivos a través de un conjunto de tecnologías emergentes que están cambiando la forma de operar de las empresas a nivel global. Esta revolución digital no solo impacta a los grandes conglomerados, sino también plantea desafíos y oportunidades para las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) de la región latinoamericana.

En América Latina, la adopción de tecnologías de Industria 4.0 en las PyMEs es todavía incipiente: la penetración de herramientas como robótica avanzada, Big Data, computación en la nube, inteligencia artificial (IA), impresión 3D, Internet de las Cosas (IoT) o realidad virtual/aumentada se observa apenas en sus primeras etapas. Esto significa que muchas PyMEs latinoamericanas aún no incorporan plenamente estas innovaciones, lo cual implica una brecha tecnológica importante respecto a economías más desarrolladas.

Adicionalmente, las PyMEs de la región enfrentan obstáculos particulares para sumarse a esta nueva era industrial. Estudios recientes señalan que en América Latina el reto de implementar Industria 4.0 es mayor debido a deficiencias estructurales: muchas empresas carecen de automatización básica, tienen estructuras organizacionales rígidas, insuficiente formación de recursos humanos en tecnologías digitales y poco conocimiento sobre estas herramientas. Esto genera resistencia al cambio tecnológico y riesgo de quedar rezagadas frente a la transformación digital.

Sin embargo, también existen casos emergentes que demuestran el potencial de Industria 4.0 en contextos locales. Por ejemplo, ya se observan PyMEs que aprovechan plataformas colaborativas y algoritmos de *machine learning* para comercio electrónico, o manufactureras autopartistas que instalaron sensores IoT en sus plantas para optimizar la productividad. Estos ejemplos

latinoamericanos evidencian que la Industria 4.0 puede aplicarse con éxito en la región, adaptándose a las realidades locales y generando mejoras significativas en procesos y modelos de negocio.

En este contexto, la Industria 4.0 no puede ser interpretada únicamente como una tendencia tecnológica global, sino como un proceso de transformación que se manifiesta de manera desigual según las capacidades estructurales, organizacionales y culturales de cada región y tipo de empresa. En el caso de las PyMEs latinoamericanas, y particularmente las industriales, la adopción de este paradigma requiere enfoques graduales y adaptados, que contemplen no solo la disponibilidad tecnológica, sino también la madurez organizacional y la estrategia empresarial.

1.2 Evolución histórica de la Industria 1.0 a la 4.0

El concepto de Revolución Industrial está ligado a cambios tecnológicos disruptivos que transforman profundamente la producción. A lo largo de la historia se han dado varias revoluciones industriales que marcaron hitos en las condiciones materiales y sociales de la producción.

La **Primera Revolución Industrial** (finales del siglo XVIII) se identifica con la introducción de la máquina de vapor, iniciando la mecanización fabril y provocando, por ejemplo, la migración de poblaciones rurales a entornos urbanos fabriles.

Aproximadamente un siglo después, la **Segunda Revolución Industrial** (finales del siglo XIX e inicios del XX) estuvo impulsada por la electricidad, el desarrollo del motor de combustión y la producción en masa mediante la línea de montaje, revolucionando la eficiencia y escala de la industria.

La **Tercera Revolución Industrial** surgió en la segunda mitad del siglo XX (décadas de 1970 en adelante), apalancada por los avances en electrónica, informática y telecomunicaciones. Este período introdujo la automatización de procesos industriales y la adopción de sistemas computarizados de control,

sentando las bases de la era digital en la manufactura. Máquinas controladas por computadoras, robots programables y tecnologías de control numérico permitieron elevar la productividad y la precisión, reduciendo la intervención humana directa en muchas tareas.

Finalmente, la **Cuarta Revolución Industrial** –en la que nos encontramos actualmente– se distingue por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas, difuminando las fronteras entre estos ámbitos. A diferencia de las anteriores, la Industria 4.0 ocurre apenas ~50 años después de la tercera, evidenciando una aceleración histórica del cambio tecnológico. Este nuevo paradigma se asocia con la informatización integral y la interconexión en tiempo real de la producción, habilitando la generación, integración y análisis masivo de datos a lo largo de todo el proceso productivo y el ciclo de vida de los productos.

En otras palabras, si la tercera revolución introdujo la automatización mediante computadoras aisladas, la cuarta expande esto hacia sistemas ciber-físicos integrados en red, altamente comunicados entre sí e integrados a Internet. La novedad esencial de la era 4.0 radica en la conectividad ubicua (máquinas, personas, productos y sistemas interconectados) y en la inteligencia distribuida en procesos productivos, lo que genera fábricas inteligentes y modelos de negocio totalmente nuevos.

En resumen, se pasa de una lógica industrial de automatización aislada (Industria 3.0) a una lógica de digitalización en red y autonomía inteligente (Industria 4.0). Este paso implica un cambio de paradigma. La transformación digital actual configura un mapa tecnológico en que todos los actores sociales (empresas, consumidores, gobiernos) se conectan en tiempo real a través de múltiples dispositivos inteligentes y plataformas digitales, cambiando radicalmente cómo producimos, trabajamos y nos comunicamos.

En países desarrollados, la mayoría de la población y de las empresas está en línea, mientras que en países en desarrollo aún se trabaja para lograr ese acceso universal. Esto refleja que la Cuarta Revolución Industrial no solo trae

tecnologías, sino que demanda también condiciones sociales habilitantes (conectividad, infraestructura digital, capital humano calificado) para su plena materialización. En el contexto latinoamericano, gobiernos y empresas reconocen la urgencia de no “perder el tren” de esta nueva revolución productiva, dada su potencial para reconfigurar las ventajas competitivas nacionales.

A diferencia de las revoluciones industriales previas, la Industria 4.0 no se define por la incorporación de una tecnología dominante, sino por la convergencia simultánea de múltiples tecnologías digitales, físicas y organizacionales. Mientras que las primeras revoluciones transformaron principalmente los medios de producción, la cuarta revolución redefine también la lógica de gestión, el rol del trabajador y la centralidad de la información como factor productivo estratégico. Esta aceleración y profundidad del cambio explican por qué la Industria 4.0 representa un verdadero cambio de paradigma y no una simple evolución incremental de la Industria 3.0.

1.3 Concepto y características de la Industria 4.0

Industria 4.0 es un término que describe la integración de tecnologías digitales avanzadas en los procesos industriales y empresariales, generando fábricas inteligentes y nuevos modelos de negocio basados en datos. En esencia, la Cuarta Revolución Industrial representa la fase de digitalización total del sector manufacturero, impulsada por la creciente disponibilidad de big data, la potencia computacional y la hiperconectividad de sistemas y personas.

Aun cuando muchas de las tecnologías subyacentes ya existían en formas iniciales durante la tercera revolución, lo que distingue a la Industria 4.0 es la forma en que estas tecnologías convergen e interactúan entre sí para producir disrupciones sin precedentes. Se combinan múltiples pilares tecnológicos (sensórica, inteligencia artificial, robótica, computación en la nube, etc.) de manera sinérgica, cambiando radicalmente la manera de producir y gestionar las empresas.

Entre las características principales de la Industria 4.0 se pueden destacar:

- **Integración total de información:** Existe una interconexión plena entre el mundo físico y el digital a lo largo de la cadena de suministro. Máquinas, equipos, productos, trabajadores, proveedores y clientes están vinculados mediante redes digitales, compartiendo datos en tiempo real. Esto permite que la producción se vuelva inteligente, ya que los sistemas pueden tomar decisiones autónomas basadas en información global del proceso. La conectividad alcanza incluso a los propios productos (“objetos inteligentes” equipados con sensores) que envían datos sobre su uso y estado, habilitando servicios posventa proactivos.
- **Automatización avanzada y flexible:** La Industria 4.0 profundiza la automatización más allá de lo logrado en la era 3.0. Ya no se trata solo de robots programados repitiendo tareas, sino de máquinas autónomas y colaborativas capaces de ajustarse dinámicamente. Los sistemas autónomos realizan tareas complejas antes reservadas a humanos, integrando sensores, actuadores y algoritmos de control para navegar por entornos de producción cambiantes. Un ejemplo es la incorporación de vehículos guiados automáticos (AGVs) que transportan materiales dentro de la planta de forma coordinada con operarios, optimizando flujos internos.
- **Explotación masiva de datos (Big Data):** En la industria 4.0, los datos se han convertido en un activo crítico. Se recopilan volúmenes enormes de datos de muy diversas fuentes: sensores en máquinas, registros de producción, sistemas corporativos, interacciones con clientes, redes sociales, etc. Mediante herramientas analíticas avanzadas (data analytics, machine learning), los datos se procesan para extraer información valiosa que apoye la toma de decisiones en tiempo real y la mejora de la calidad y eficiencia.
- **Inteligencia artificial y aprendizaje automático:** La IA constituye otro pilar esencial, pues brinda a las máquinas capacidades “cognitivas” similares a las humanas. A través de algoritmos de *machine learning*,

los sistemas pueden aprender de los datos históricos y presentes, mejorando su rendimiento con el tiempo. En el ámbito industrial, la IA se emplea para reconocimiento de imágenes, comprensión de lenguaje, optimización de rutas logísticas, mantenimiento predictivo y otras aplicaciones. En síntesis, habilita procesos adaptativos y autónomos, donde las máquinas no solo ejecutan instrucciones, sino que toman decisiones informadas por datos y aprendizajes previos.

- **Conectividad e Internet de las Cosas (IoT):** La conectividad ubicua es la base de muchas innovaciones 4.0. El IoT permite la interconexión digital de objetos físicos con Internet, de modo que “cosas” (máquinas, dispositivos, productos) puedan enviar y recibir datos. En la fábrica, el IoT permite una comunicación continua: las máquinas hablan entre sí (comunicación M2M), los sensores reportan condiciones en tiempo real, y los productos informan a los sistemas su estado o ubicación.
- **Computación en la nube y sistemas ciber-físicos:** La infraestructura digital de Industria 4.0 se apoya en la nube, que brinda capacidad casi ilimitada de almacenamiento y procesamiento bajo demanda. Los sistemas ciber-físicos (CPS), por su parte, coordinan y controlan procesos físicos mediante software y redes digitales, generando fábricas optimizadas y autoajustables.
- **Personalización y nuevos modelos de negocio:** Otra característica destacada de la Industria 4.0 es que permite conciliar la eficiencia con la personalización masiva. Tecnologías como impresión 3D, robótica flexible e IoT permiten producir lotes unitarios adaptados a cada cliente, sin incurrir en altos costos. Asimismo, surgen modelos de negocio orientados al servicio: por ejemplo, ofrecer productos como servicio (*product-as-a-service*) gracias a la conectividad de los mismos.

No obstante, resulta relevante señalar que la simple incorporación de estas características no garantiza, por sí sola, una transformación efectiva. La Industria 4.0 no se materializa únicamente mediante la adopción de tecnologías aisladas, sino a través de su integración coherente en la estrategia empresarial, los procesos operativos y la cultura organizacional.

En este sentido, existe el riesgo de adoptar una visión reduccionista o tecnologicista del paradigma, desconectada de la realidad y capacidades concretas de las PyMEs industriales.

1.4 Tecnologías clave de la Industria 4.0

Dentro del amplio abanico de herramientas que conforman la Industria 4.0, algunas se consideran tecnologías habilitadoras por su carácter transversal. A continuación, se desarrollan las más relevantes para las PyMEs industriales:

Internet de las Cosas (IoT)

El IoT permite conectar objetos físicos —máquinas, herramientas, vehículos, productos— a través de sensores y redes, generando flujos de información en tiempo real. En la industria, posibilita monitoreo constante de condiciones operativas, trazabilidad de procesos y mantenimiento predictivo. Por ejemplo, sensores instalados en una línea de producción detectan fallas antes de que ocurran, reduciendo paradas imprevistas y costos asociados.

También conecta los productos con sus fabricantes: electrodomésticos inteligentes pueden enviar datos de uso para adaptar servicios postventa o diseñar futuras versiones. En sectores como el agro, sensores miden humedad, clima o nutrientes, optimizando recursos y aumentando la productividad.

Inteligencia Artificial (IA)

La IA introduce capacidades cognitivas a los sistemas: aprender, tomar decisiones, predecir eventos o reconocer patrones. Sus usos industriales incluyen visión artificial para control de calidad, chatbots para atención al cliente, algoritmos de optimización para procesos productivos, y planificación logística en tiempo real.

Un caso concreto en Argentina: una PyME2 óptica incorporó un robot con visión artificial para examinar lentes oftálmicas. Aprendía de cada inspección y mejoró drásticamente la calidad y consistencia del producto.

Big Data y analítica de datos

Big Data refiere a la gestión de grandes volúmenes de datos de múltiples fuentes. En el entorno 4.0, la analítica avanzada convierte datos en decisiones inteligentes: permite predecir fallas, ajustar procesos en tiempo real o personalizar productos. Un ejemplo común es el uso de gemelos digitales, donde se simulan procesos reales para mejorar configuraciones o proyectar escenarios.

En Argentina, varias PyMEs han centralizado sus datos en *data warehouses*, obteniendo métricas de productividad que antes eran inaccesibles. Esta evidencia permite decisiones basadas en hechos y no en intuiciones.

Automatización y robótica avanzada

A diferencia de la automatización tradicional, la robótica avanzada incorpora flexibilidad, movilidad y colaboración humano-máquina. Los *cobots* (robots colaborativos) pueden trabajar junto a operarios sin barreras de seguridad, adaptarse a tareas variables y ser fácilmente reprogramados.

Esto se traduce en líneas de producción más ágiles, menores errores, y capacidad para fabricar productos personalizados sin perder eficiencia. Las PyMEs que automatizan selectivamente tareas críticas logran aumentos considerables de productividad, mejoras en seguridad laboral y reducción de costos.

Si bien estas tecnologías suelen analizarse de manera individual, su verdadero potencial emerge cuando se integran en un sistema coherente. El Internet de las Cosas actúa como generador de datos, el Big Data y la analítica permiten procesarlos, y la inteligencia artificial contribuye a la toma de decisiones automatizada o asistida. La automatización y la robótica, por su

parte, materializan estas decisiones en el plano operativo. Esta interrelación constituye la base tecnológica del modelo Industria 4.0.

1.5 Innovación, cambio organizacional y empresas familiares en la era 4.0

La incorporación de Industria 4.0 en las PyMEs no es solo un desafío tecnológico, sino también organizacional y cultural. Adoptar nuevas tecnologías implica modificar procesos, estructuras y formas de trabajo, lo que requiere una adecuada gestión del cambio.

Innovación en PyMEs y empresas familiares

La innovación puede ser incremental (mejoras graduales) o radical (cambios disruptivos). En el caso de las PyMEs familiares, suele haber tensiones entre la tradición y la necesidad de modernizarse. Muchas de estas empresas valoran profundamente su historia y sus métodos consolidados, pero enfrentan presiones del entorno competitivo que las obligan a innovar.

Algunos obstáculos frecuentes son:

- Cultura organizacional conservadora y resistencia al cambio.
- Toma de decisiones influida por relaciones familiares, más emocionales que estratégicas.
- Falta de estructuras formales para gestionar la innovación (departamentos de I+D, planificación tecnológica, etc.).

Pero también hay fortalezas que pueden aprovecharse:

- Compromiso profundo con el negocio.
- Mayor flexibilidad para decisiones de largo plazo.
- Identidad fuerte y sentido de propósito.

Casos de éxito muestran que tradición e innovación no son excluyentes. Empresas familiares que reinterpretan su legado incorporando nuevas

tecnologías logran sostener su identidad mientras se adaptan a los desafíos del siglo XXI.

En el contexto argentino, estas dinámicas adquieren particular relevancia, dado que gran parte del entramado industrial está compuesto por empresas familiares con estructuras organizacionales informales y una elevada centralización en la toma de decisiones. Esta configuración puede actuar tanto como facilitador —por la agilidad decisoria— como obstáculo, cuando la innovación es percibida como una amenaza al modelo tradicional de gestión.

1.6 Gestión del cambio organizacional

La transformación digital requiere una gestión del cambio intencional y planificada. Uno de los modelos más utilizados es el de Kurt Lewin, que propone tres etapas:

1. **Descongelar:** generar conciencia de la necesidad de cambio y romper con el statu quo.
2. **Cambiar:** implementar las nuevas tecnologías, capacitar al personal, rediseñar procesos.
3. **Recongelar:** estabilizar los cambios, consolidarlos como la nueva forma de operar.

Para PyMEs familiares, este modelo es especialmente útil por su simpleza y por enfatizar la necesidad de trabajar con la cultura organizacional existente.

Claves para una gestión exitosa:

- Involucrar a líderes informales desde el inicio.
- Comunicar con claridad los beneficios del cambio.
- Celebrar “quick wins” para generar confianza.
- Capacitar a los empleados para que participen del nuevo modelo de trabajo.

El relevo generacional puede ser una gran oportunidad para introducir tecnología. Las nuevas generaciones suelen tener mayor afinidad digital y

pueden convertirse en promotoras del cambio, siempre que se respeten los valores y experiencias de la generación anterior.

1.7 Ejemplos de aplicación de tecnologías 4.0 en empresas reales

Para ilustrar cómo los conceptos desarrollados se traducen en la práctica, se presentan a continuación algunos casos concretos de implementación de Industria 4.0 en empresas latinoamericanas, especialmente PyMEs:

Caso 1: PyME autopartista con IoT (Argentina)

Una mediana empresa fabricante de autopartes implementó sensores IoT en su planta de producción. Equipó prensas, CNC y líneas de pintura con sensores que registran vibración, temperatura, consumo energético y ritmo de producción. Con esta información, identificaron cuellos de botella y aplicaron mantenimiento predictivo. Reportaron una reducción de entre 10% y 20% en tiempos muertos, y mejoras de calidad gracias al monitoreo en tiempo real.

Caso 2: Fábrica óptica inteligente (Santa Fe, Argentina)

Una PyME tradicional de fabricación de lentes reconvirtió sus procesos desde 2016, incorporando sensores IoT en máquinas, picking automatizado y control de calidad mediante robótica e inteligencia artificial. Desarrollaron un *data warehouse* propio y aplican herramientas analíticas para planificar producción y detectar defectos ópticos. Esta integración permitió reducir errores, mejorar calidad y responder más rápidamente al mercado.

Caso 3: Cadena agroindustrial con Big Data e IoT (Brasil)

Una cooperativa agrícola implementó una plataforma de agricultura de precisión. Utilizó sensores en maquinaria, imágenes de drones y GPS para mapear rendimiento por parcela. Los datos se analizan en la nube y se utilizan para ajustar riego, fertilización y cosecha. El resultado fue una mejora en el rendimiento y reducción de insumos (15% menos fertilizante). Este ejemplo es relevante para empresas argentinas como Nutriterra que operan en la cadena agroindustrial.

Caso 4: Empresa familiar manufacturera (Chile)

Una fábrica de envases plásticos con gestión familiar incorporó robots de empaque, sensores energéticos e integró un ERP. Aunque la inversión tecnológica fue importante, el verdadero desafío fue el humano: el recambio generacional fue acompañado de viajes, formación y diálogo entre padre e hijo (ambos gerentes) para alinear la visión. Se redujeron tiempos de producción en un 20% y mejoró la trazabilidad. El proceso fue exitoso gracias a la gestión cuidadosa del cambio organizacional.

El análisis conjunto de estos casos permite identificar patrones comunes en los procesos exitosos de adopción de Industria 4.0. En todos ellos se observa una implementación gradual, focalizada en procesos críticos, acompañada por una fuerte gestión del cambio y por el compromiso de la dirección. La tecnología aparece como un medio y no como un fin, subordinada a objetivos concretos de eficiencia, calidad y competitividad.

1.8 Hacia un marco conceptual integrador

De lo expuesto hasta aquí se desprende que la Industria 4.0 debe entenderse como un fenómeno multidimensional. No se trata solo de implementar nuevas tecnologías, sino de transformar la organización en su conjunto. Para construir un marco conceptual aplicable al análisis del caso Nutriterra S.A., es útil integrar cuatro dimensiones clave:

1. Dimensión tecnológica

Incluye los pilares de la Industria 4.0 (IoT, IA, Big Data, automatización, etc.). Estas tecnologías habilitan mejoras en eficiencia, calidad, trazabilidad y flexibilidad. Sin embargo, su incorporación debe estar alineada con la estrategia empresarial. En el caso de Nutriterra, por ejemplo, se utilizan sensores para obtener datos del suelo y así formular fertilizantes personalizados, o automatizar etapas críticas del proceso productivo.

2. Dimensión de innovación y estrategia

La empresa debe identificar qué innovaciones desea perseguir y cómo integrarlas a su propuesta de valor. Esto implica articular procesos de gestión de la innovación, establecer mecanismos de decisión (como comités de innovación) y asegurar el compromiso de la dirección. En empresas familiares, puede ser útil institucionalizar ciertos roles, incorporando profesionales externos que aporten visión estratégica sin romper con los valores culturales.

3. Dimensión organizacional y cultural

El componente humano es el más crítico. La transformación digital requiere una cultura que valore la mejora continua, la capacitación y la toma de decisiones basada en datos. También es vital implementar un modelo de gestión del cambio que tenga en cuenta el contexto de PyMEs familiares: comunicar bien, formar, motivar y acompañar a las personas es clave para evitar fricciones.

4. Dimensión del entorno y encadenamientos

Ninguna PyME avanza sola. La Industria 4.0 demanda un ecosistema: proveedores tecnológicos confiables, infraestructura digital, políticas públicas de apoyo, alianzas con universidades, centros técnicos o incluso clientes. En el caso de Nutriterra, la colaboración con otras empresas del agro o el acceso a programas de financiamiento puede marcar la diferencia para avanzar.

En el contexto de la Industria 4.0, han surgido diversos modelos de madurez digital industrial que permiten evaluar el grado de preparación y avance de las empresas en la transformación digital. Estas herramientas conceptuales sirven para diagnosticar el nivel de adopción de tecnologías 4.0 e identificar rutas de mejora. Un ejemplo destacado es el modelo de madurez propuesto por la academia alemana Acatech, conocido como *Industrie 4.0 Maturity Index*, el cual plantea seis etapas evolutivas en la digitalización industrial,

desde la simple **computarización** hasta la empresa totalmente **autónoma y adaptativa** (Acatech, 2017). Este modelo se ha convertido en una referencia ampliamente utilizada, especialmente en el contexto europeo, sirviendo como guía práctica de diagnóstico e implementación para la transformación digital de plantas industriales. De hecho, el índice de Acatech ha logrado un elevado grado de aplicación tanto en Europa como en Latinoamérica (Blanc et al., 2021), evidenciando su relevancia en distintos entornos productivos. En Asia, un modelo análogo es el Índice de Preparación de la Industria Inteligente de Singapur, que cumple una función similar de medir la preparación digital de las empresas (Blanc et al., 2021). La existencia de múltiples modelos de madurez –algunos de carácter más teórico y otros orientados a la aplicación práctica– refleja la importancia de contar con marcos de referencia para que las PyMEs puedan diagnosticar su situación actual, planificar su hoja de ruta tecnológica y transitar de manera ordenada hacia niveles superiores de digitalización. Tales modelos ofrecen un lenguaje común para evaluar factores clave (tecnológicos, organizacionales, culturales) que inciden en la incorporación de herramientas de la Industria 4.0, facilitando comparaciones y el diseño de estrategias a medida de cada empresa.

El grado de madurez digital de las PyMEs presenta marcadas diferencias a nivel internacional. Los países líderes en la cuarta revolución industrial –como Alemania, Japón o Corea del Sur– han impulsado tempranamente estrategias integrales de digitalización productiva y exhiben niveles de adopción significativamente mayores que las naciones en desarrollo. Alemania fue pionera en 2011 con su iniciativa **Industrie 4.0**, articulando de forma estrecha el sector público y el privado para promover la modernización tecnológica en la manufactura (SEGIB, 2022). Este país no solo acuñó el concepto, sino que desarrolló una red de plataformas y centros de competencia que han facilitado la adopción de tecnologías avanzadas incluso entre sus medianas empresas industriales. Japón, por su parte, formuló la visión *Society 5.0* orientada a integrar profundamente las tecnologías digitales en la sociedad y la industria, apoyándose en su larga trayectoria en robótica y automatización para mantener la competitividad de su sector manufacturero. Corea del Sur

constituye otro caso emblemático: con fuerte liderazgo estatal, lanzó planes ambiciosos para modernizar su base productiva, fijándose metas concretas como la incorporación de **30.000 fábricas inteligentes para PyMEs hacia 2022**(Yonhap, 2019). Tales iniciativas reflejan inversiones masivas en infraestructura digital, capacitación y desarrollo tecnológico, respaldadas por políticas de largo plazo. En contraste, la mayor parte de los países de América Latina aún se encuentran en etapas iniciales de esta transformación. Según estudios regionales, la penetración de tecnologías avanzadas como robótica, macrodatos, inteligencia artificial o Internet de las Cosas en las PyMEs manufactureras latinoamericanas es todavía incipiente (Motta et al., 2019). Esto indica que existe una importante brecha digital respecto de las economías industrializadas. Incluso dentro de la región se observan matices: economías como Brasil o México han emprendido programas nacionales de Industria 4.0 en años recientes, mostrando cierto avance en la sensibilización y digitalización de empresas, pero en términos generales el rezago persiste (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2021). En Argentina, en particular, la distancia con los líderes globales se manifiesta en diversos indicadores: se evidencia una brecha tecnológica significativa entre las grandes firmas –que suelen ser pioneras en incorporar tecnologías 4.0– y la mayoría de las PyMEs industriales, las cuales permanecen rezagadas en la adopción digital (Mon & Del Giorgio, 2022). Este rezago no solo compromete la competitividad internacional de las empresas locales, sino que también plantea el riesgo de profundizar las diferencias estructurales en productividad y calidad que separan a los países desarrollados de las economías emergentes.

La literatura identifica múltiples causas para explicar la brecha digital que afecta a las PyMEs industriales argentinas. En primer lugar, se señalan factores internos vinculados al conocimiento y las capacidades dentro de la empresa. Muchas PyMEs carecen de información y entendimiento sobre las nuevas tecnologías digitales disponibles, lo cual constituye una barrera inicial para siquiera considerar su adopción. A esto se suman deficiencias en las competencias digitales del capital humano interno –por ejemplo, la ausencia de personal con formación en sistemas, análisis de datos o automatización–

que dificultan la implementación y el uso efectivo de las herramientas 4.0. Asimismo, la cultura organizacional y los hábitos de gestión tradicionales pueden generar **resistencia al cambio** tecnológico. En empresas acostumbradas durante décadas a procesos manuales o analógicos, la introducción de sistemas interconectados y la toma de decisiones basadas en datos supone alterar rutinas arraigadas, lo que a menudo encuentra reticencia entre el personal e incluso en los niveles directivos (Motta et al., 2019).

Por otra parte, existen obstáculos de carácter estructural vinculados al entorno externo que agravan la brecha digital. Uno de ellos es la **escala limitada** y el reducido volumen de operaciones de muchas PyMEs argentinas. Con producciones en lotes pequeños y mercados acotados, a menudo no logran justificar económicamente inversiones significativas en tecnología avanzada, ya que el retorno esperado puede ser insuficiente. Este factor se relaciona con la **dificultad de acceso al financiamiento**: los proyectos de digitalización requieren capital considerable, por lo que las PyMEs enfrentan barreras para obtener créditos accesibles o inversores dispuestos a costear la transformación. En Argentina, la situación macroeconómica volátil –marcada por elevada incertidumbre, inflación y costos financieros altos– ha sido un obstáculo adicional que limita la capacidad de inversión de las empresas en activos tecnológicos de largo plazo. De hecho, la incorporación de equipos de punta, como robots industriales o sistemas de realidad virtual, resulta **prohibitiva para la mayoría de las PyMEs locales**, quedando restringida casi exclusivamente a grandes compañías con mayor espalda financiera (Motta et al., 2019).

La disponibilidad deficiente de **infraestructura de conectividad** en ciertas regiones o polos industriales del país constituye otra traba: sin acceso confiable a Internet de alta velocidad y redes seguras, es difícil desplegar soluciones basadas en IoT, computación en la nube o análisis de datos en tiempo real. También se han identificado **insuficiencias en la oferta** local de tecnologías 4.0 adaptadas a las necesidades de las PyMEs. En ocasiones no existen proveedores nacionales accesibles de determinados sistemas (por ejemplo, software industrial especializado), o bien las soluciones disponibles

no se ajustan a las particularidades de procesos productivos de baja escala. Asimismo, el tejido de PyMEs industriales argentinas se caracteriza por un elevado grado de **diversificación productiva**. Cada empresa suele operar en nichos específicos o producir una variedad de bienes en series cortas, lo que dificulta la estandarización de soluciones tecnológicas y diluye las economías de escala en la adopción digital. Finalmente, un factor adicional es la **baja sofisticación de la demanda** en el mercado local y la propia naturaleza de los productos y servicios que ofrecen muchas PyMEs, elementos que en conjunto reducen los incentivos para invertir en nuevas tecnologías. Si los clientes –tanto en el mercado interno como en el externo– no exigen integraciones digitales (por ejemplo, trazabilidad en tiempo real, certificaciones electrónicas, integración automatizada con proveedores, etc.), las empresas perciben un menor estímulo para priorizar estas inversiones. Todos estos factores –tanto internos como externos– ayudan a explicar por qué la transformación hacia la Industria 4.0 avanza lentamente en el segmento de las PyMEs industriales argentinas, abriendo una brecha pronunciada respecto de las empresas de mayor tamaño y de los países líderes en digitalización (Motta et al., 2019).

La superación de las brechas mencionadas no solo requiere inversión en tecnología, sino también un desarrollo sustancial del **capital humano** en las PyMEs. La transformación digital impone la necesidad de nuevos perfiles y competencias laborales acordes a las exigencias de la Industria 4.0. En líneas generales, se demanda personal altamente capacitado en disciplinas técnico-digitales, capaz de interactuar con sistemas complejos de automatización, análisis de datos y comunicación máquina-máquina. Por ejemplo, habilidades en programación, robótica, gestión de sensores IoT, análisis de **big data** e inteligencia artificial se vuelven cada vez más importantes en el entorno fabril moderno (Blanc et al., 2024). Estas competencias técnicas duras deben complementarse con una sólida alfabetización digital en toda la plantilla, para asegurar que los empleados puedan adaptarse al uso cotidiano de software de gestión, plataformas colaborativas y dispositivos conectados. No menos relevantes son las denominadas *habilidades blandas* que cobran

protagonismo en la Industria 4.0: se valora la capacidad de resolución de problemas complejos, el pensamiento crítico, la flexibilidad y, especialmente, la disposición al **aprendizaje continuo**. Dado que las tecnologías cambian rápidamente, el personal debe estar preparado para capacitarse y **reentrenarse** a lo largo de toda su vida laboral (Blanc et al., 2024). En este sentido, el concepto de *recurso humano 4.0* implica conformar equipos interdisciplinarios que combinen expertos tecnológicos con operarios dispuestos a asimilar nuevas prácticas productivas. Asimismo, surge el rol específico del “*facilitador 4.0*” o agente de cambio dentro de la empresa: una figura encargada de guiar la transformación digital, sensibilizar al resto del personal y servir de enlace entre la dirección estratégica y las implementaciones técnicas en planta. La formación de este tipo de perfiles es crítica para el éxito de los proyectos de Industria 4.0 en las PyMEs, pues actúa como catalizador integrando el factor tecnológico con el factor humano. Diversos autores subrayan que la falta de personal con las competencias adecuadas constituye uno de los principales obstáculos para la adopción plena de la Industria 4.0 en las pequeñas empresas. Por ello, tanto el sector público como el privado han comenzado a invertir en programas de capacitación dirigidos a desarrollar estas **habilidades 4.0** en la fuerza laboral, entendiendo que la tecnología por sí sola no genera valor sin personal capacitado que la implemente y aproveche.

La magnitud de los desafíos enumerados ha llevado a que las políticas públicas cobren un rol protagónico en el impulso de la transformación digital industrial, especialmente en el ámbito de las PyMEs. La evidencia internacional demuestra que los procesos exitosos de adopción de Industria 4.0 han estado acompañados –cuando no liderados– por Estados activos que articulan esfuerzos con el sector privado, la academia y otros actores sociales (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2021). Ningún país ha dejado exclusivamente en manos del libre mercado la tarea de digitalizar su base manufacturera, dado que existen fallas de coordinación, altos costos iniciales y externalidades que justifican la intervención pública. En las economías avanzadas abundan las iniciativas estatales: desde estrategias nacionales de

alcance integral (como la mencionada *Industrie 4.0* de Alemania, o el programa **Made in China 2025**) hasta programas específicos de apoyo a PyMEs (por ejemplo, los centros de competencia “*Mittelstand 4.0*” en Alemania, o los subsidios para modernización tecnológica en Corea del Sur). Muchas políticas combinan instrumentos de estímulo financiero –subsidios, créditos blandos, incentivos fiscales– con acciones de formación y asesoramiento técnico a las empresas. En el espacio iberoamericano se observa una tendencia similar en años recientes: países como España, Portugal, Brasil, Chile, Colombia y México han elaborado planes nacionales para promover la digitalización productiva de sus PyMEs (SEGIB, 2022). La mayoría de estos esfuerzos se enmarcan en estructuras institucionales sólidas, con coordinación interministerial y participación del sector privado, y están alineados con visiones estratégicas de desarrollo. Esto ha dado lugar a numerosas medidas destinadas a concientizar a los empresarios sobre la importancia de la transformación digital, **asistir técnicamente** a las PyMEs en la incorporación de tecnologías, y **apoyarlas financieramente** en las inversiones requeridas, todo ello en el marco de planes que integran acciones en ámbitos complementarios (SEGIB, 2022). Por ejemplo, las estrategias incluyen mejoras en infraestructura digital (ampliación de conectividad de banda ancha en parques industriales), promoción de estándares de **ciberseguridad**, incentivos a la inversión en I+D aplicada y adecuación de la formación de la fuerza laboral presente y futura a las nuevas competencias demandadas (SEGIB, 2022). Este enfoque integral busca crear un ecosistema favorable en el cual las PyMEs puedan transitar hacia la Industria 4.0 con menores barreras y mayores incentivos, evitando que queden rezagadas en la cuarta revolución industrial.

Argentina se ha sumado tardíamente a esta tendencia, pero en los últimos años comenzó a desarrollar políticas y programas específicos para apoyar la transformación digital de sus PyMEs industriales. En 2021, el Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación lanzó el **Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0**, reconociendo que sin una planificación estratégica y una intervención estatal activa el país enfrentaría serios riesgos de atraso

productivo y desempleo tecnológico (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2021). Este plan nacional se propone impulsar la adaptación de la industria local al nuevo paradigma, fomentando tanto la adopción de tecnologías 4.0 en los procesos productivos como el desarrollo de soluciones tecnológicas autóctonas. Entre sus líneas de acción se encuentran iniciativas de capacitación y generación de talento 4.0, asistencia técnica a PyMEs (diagnóstico e implementación de proyectos piloto), instrumentos de financiamiento específicos y la creación de entornos de articulación público-privada para la innovación. El Plan Argentina 4.0 se nutre de las experiencias internacionales, pero se basa en las particularidades del entramado productivo nacional, buscando mejorar la competitividad de la economía a la vez que generar puestos de trabajo de calidad (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2021). Complementariamente, el gobierno ha articulado esfuerzos con organismos internacionales de financiamiento para potenciar la digitalización de las PyMEs. Por ejemplo, a través del **Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE)** se implementó un programa de crédito que provee fondos al Estado argentino para invertir en infraestructura tecnológica productiva y en la capacitación de trabajadores y empresarios, con miras a construir un modelo productivo 4.0 orientado a las PyMEs. Este programa tiene como objetivos desarrollar la infraestructura tecnológica para la transformación digital del sector manufacturero PyME, **capacitar** intensivamente a empresarios y trabajadores para la transición hacia modelos 4.0, y financiar procesos de transformación digital en un grupo piloto de empresas, facilitando su acceso a una nueva plataforma productiva compatible con la manufactura avanzada. Los sectores prioritarios definidos incluyen industrias como gas y petróleo, equipamiento médico, automotriz, alimentación y maquinaria agrícola, canalizándose los créditos a través del Ministerio de Desarrollo Productivo. En paralelo, el programa contempla un componente de **formación de capital humano en habilidades 4.0** mediante becas y entrenamientos masivos, a fin de preparar a los recursos humanos para los cambios tecnológicos, junto con actividades de sensibilización que difundan los beneficios de la transformación digital (BCIE, 2022). También se han lanzado iniciativas como el “Programa Piloto para la

Transformación Digital de las PyMEs” (dependiente del Ministerio de Economía), que ofreció becas de capacitación para formar facilitadores en tecnologías 4.0 y crear una red de expertos capaz de acompañar a las empresas en este proceso de cambio. A nivel subnacional, algunas provincias y cámaras industriales comenzaron a desarrollar sus propios centros tecnológicos 4.0, laboratorios de manufactura digital y acuerdos con universidades para transferir conocimientos y herramientas a las empresas locales. Si bien el despliegue de estas políticas en Argentina se halla todavía en etapas iniciales y con alcance limitado, representan pasos importantes hacia la reducción de la brecha digital. La coordinación entre los programas nacionales, el financiamiento externo y los esfuerzos privados (por ejemplo, iniciativas de grandes empresas “tractoras” que difunden tecnología 4.0 a su cadena de valor) será clave para ampliar el impacto de las medidas de apoyo. En síntesis, se busca conformar un entorno donde las PyMEs tengan incentivos y ayudas concretas para innovar, mitigando el riesgo y el costo que supone para ellas adentrarse en la Industria 4.0 por cuenta propia.

La adopción de las tecnologías de Industria 4.0 en las PyMEs conlleva, no obstante, una serie de **riesgos y límites** que conviene tener presentes. En primer lugar, existe el riesgo de que una implementación inadecuada o apresurada de estas herramientas resulte en un fracaso operacional y financiero para la empresa. Integrar múltiples sistemas digitales (sensores, software de analítica, máquinas inteligentes, etc.) en los procesos productivos es una tarea compleja que requiere no solo inversión, sino también una cuidadosa gestión del cambio. Si la empresa no está suficientemente preparada –por ejemplo, si su personal no ha sido entrenado o si no se adaptan los procesos organizativos–, los proyectos de Industria 4.0 pueden derivar en interrupciones productivas, sobrecostos e incluso en el abandono de las nuevas herramientas (Davies et al., 2017). Se han documentado casos en que PyMEs invierten en cierta tecnología avanzada pero luego no logran integrarla plenamente, desperdiciando recursos por falta de soporte técnico o de planificación estratégica. Esto enlaza con otro riesgo importante: **la dependencia de proveedores externos especializados**. Dado que

muchas PyMEs no cuentan con departamentos internos de TI o ingeniería robustos, suelen contratar soluciones *llave en mano* a proveedores; si toda la operación digital depende de uno o dos proveedores externos, la empresa queda expuesta en su continuidad ante eventuales incumplimientos, quiebras o incluso ante los altos costos que pueda imponer ese tercero en el futuro. En general, la **dependencia tecnológica** se considera un desafío inherente a la Industria 4.0: al incorporar *software* propietario, plataformas en la nube o maquinaria inteligente de determinados fabricantes, la firma puede quedar “cautiva” de esas tecnologías, con poca capacidad de maniobra para cambiar de proveedor o actualizarse si el ecosistema evoluciona (Blanc et al., 2024). La **seguridad cibernética** es otro ámbito crítico: al incrementarse la conectividad y el flujo de datos también aumenta la superficie de exposición a ataques informáticos. Muchas PyMEs no disponen de políticas robustas de ciberseguridad, lo que las vuelve vulnerables a riesgos como robo de información sensible, sabotaje de sistemas de control industrial o secuestro de datos (*ransomware*). Un incidente de seguridad puede paralizar las operaciones y erosionar la confianza de clientes y socios, por lo que este riesgo debe ser gestionado mediante inversiones en protección y capacitación en buenas prácticas. Asimismo, la introducción intensa de automatización y de sistemas inteligentes plantea interrogantes sobre el impacto en el empleo dentro de las PyMEs. Existe el temor –especialmente entre los trabajadores– de que la incorporación de robots o software inteligente pueda desplazar puestos de trabajo. Si bien en el largo plazo la Industria 4.0 tiende a generar nuevos roles y oportunidades laborales más especializadas, en el corto plazo puede provocar resistencia interna y requerir planes de reconversión y capacitación para evitar efectos sociales negativos. Entre los **límites intrínsecos** que enfrenta la digitalización en las pequeñas empresas, destaca el tema de la rentabilidad de ciertas inversiones. No todas las soluciones de Industria 4.0 son apropiadas o económicamente justificables para una PyME. Por ejemplo, se ha observado que resulta *difícilmente rentable* para una fábrica pequeña invertir del orden de **US\$ 50.000** en una estación de **realidad virtual** para entrenamiento de su personal, cuando esa función puede cumplirse mediante métodos tradicionales mucho más económicos (Motta et

al., 2019). De manera semejante, tecnologías como la manufactura aditiva (impresión 3D) o los sistemas avanzados de inteligencia artificial pueden no ser plenamente aprovechados por una empresa de reducida escala o con baja especialización, por lo que conviene evaluar caso por caso la conveniencia de su adopción. En suma, la transformación digital ofrece enormes beneficios potenciales en términos de eficiencia, calidad y flexibilidad, pero también conlleva riesgos que deben ser mitigados y límites que requieren un análisis riguroso de costo-beneficio en el contexto de cada PyME.

La convergencia de todos los aspectos analizados –modelos de madurez, comparaciones internacionales, brechas identificadas, factor humano, políticas de apoyo, riesgos y limitaciones– permite delinear un entendimiento integral del fenómeno de la Industria 4.0 aplicado a las PyMEs industriales argentinas. En conclusión, la cuarta revolución industrial representa para estas empresas tanto una oportunidad como un desafío de magnitud. Por un lado, subirse a la ola de la digitalización resulta esencial para no quedar excluidas de las cadenas globales de valor y para aprovechar las ganancias de productividad que ofrecen las nuevas tecnologías. Por otro lado, dicha transformación no ocurrirá espontáneamente ni de la noche a la mañana: requiere planificación estratégica, inversión, aprendizaje organizacional y un entorno externo propicio que reduzca la incertidumbre. La principal lección de las experiencias internacionales es que las PyMEs deben encarar la transición 4.0 con un **enfoque estratégico integral** –abarcando tecnología, personas y procesos– si aspiran a capturar los beneficios sin sucumbir en el intento (Jacquez-Hernández & López, 2018). En el caso argentino, cerrar la brecha digital implicará combinar la mejora de las capacidades internas (tecnológicas y humanas) con un robusto apoyo externo en materia de políticas públicas, financiamiento e infraestructura. Solo mediante la articulación inteligente de estos esfuerzos será posible que las PyMEs locales recorran las etapas de madurez digital descritas por modelos como el de Acatech y alcancen niveles de competitividad acordes con la nueva era industrial. Este marco teórico integrador subraya que la transformación digital no es un fin en sí mismo, sino un medio para que las PyMEs fortalezcan su resiliencia, innoven en sus

modelos de negocio y generen mayor valor agregado, contribuyendo así al desarrollo económico del país en la era 4.0.

1.8.1 Ecosistemas institucionales para la transformación digital de las PyMEs: el caso de RUTA X en Argentina

Tal como se desarrolló en los apartados anteriores, la adopción de los principios de la Industria 4.0 por parte de las PyMEs industriales argentinas no depende exclusivamente de la disponibilidad de tecnologías o de la decisión individual de cada empresa. La evidencia muestra que la transformación digital constituye un proceso complejo, que involucra factores tecnológicos, organizacionales, humanos y financieros, y que se ve fuertemente condicionado por el entorno en el cual las empresas operan. En este marco, las políticas públicas, los programas de financiamiento y las estrategias nacionales de desarrollo productivo resultan condiciones necesarias, pero no suficientes, para garantizar una implementación efectiva del paradigma 4.0 a nivel empresarial.

Entre el diseño de las políticas públicas y la aplicación concreta de tecnologías en las plantas industriales existe un **nivel intermedio de articulación**, en el cual adquieren relevancia los denominados **ecosistemas institucionales de apoyo a la transformación digital**. Estos ecosistemas cumplen la función de traducir los lineamientos estratégicos generales en metodologías operativas, acompañando a las empresas en el diagnóstico de su situación, en la definición de prioridades y en la ejecución progresiva de proyectos de digitalización. Para las PyMEs, este tipo de dispositivos resulta especialmente relevante, dado que permite reducir la incertidumbre, mitigar riesgos y evitar inversiones desalineadas con sus capacidades reales.

En el contexto argentino, uno de los ejemplos más representativos de este tipo de iniciativas es **RUTA X**, impulsada por la Unión Industrial Argentina, concebida como un **ecosistema de innovación y transformación productiva** orientado a acompañar a las empresas —en particular a las

PyMEs industriales— en su proceso de adopción de tecnologías y prácticas asociadas a la Industria 4.0.

RUTA X no se presenta como un programa de subsidios ni como un proveedor de soluciones tecnológicas específicas, sino como una **plataforma integral de acompañamiento**, cuyo objetivo central es facilitar trayectorias de transformación digital realistas, graduales y alineadas con la estrategia de cada empresa. Su enfoque parte del reconocimiento de que las PyMEs presentan niveles de madurez digital muy heterogéneos y que, por lo tanto, no existe un único camino válido para la adopción del paradigma 4.0.

Uno de los pilares fundamentales de RUTA X es la utilización de **herramientas de autodiagnóstico**, que permiten a las empresas evaluar su situación actual en dimensiones clave como tecnología, procesos, gestión de la información, capital humano y estrategia. Este diagnóstico inicial cumple un rol crítico, ya que brinda una base objetiva para identificar brechas, priorizar áreas de intervención y evitar abordajes basados exclusivamente en modas tecnológicas o decisiones intuitivas. En este sentido, el enfoque de RUTA X se alinea con los modelos de madurez digital desarrollados a nivel internacional, que conciben la transformación digital como un proceso evolutivo y no como un salto abrupto.

A partir de este diagnóstico, la iniciativa propone la construcción de una **hoja de ruta de transformación**, adaptada a las características específicas de cada empresa. Esta hoja de ruta contempla la definición de objetivos concretos, la selección de tecnologías pertinentes, la identificación de necesidades de capacitación y la estimación de los recursos requeridos. De este modo, la transformación digital es abordada como un proceso estratégico, integrado a la gestión empresarial, y no como una serie de inversiones aisladas.

Otro componente central de RUTA X es su rol como **articulador del ecosistema productivo y tecnológico**. La iniciativa busca vincular a las PyMEs con proveedores tecnológicos, instituciones académicas, organismos

de financiamiento y programas públicos, reduciendo los costos de búsqueda y coordinación que suelen enfrentar las empresas de menor tamaño. Esta función resulta clave para superar una de las principales barreras identificadas en la literatura: la fragmentación del entorno de innovación y la dificultad de las PyMEs para acceder a información confiable y asesoramiento especializado.

Asimismo, RUTA X pone un énfasis particular en el **desarrollo de capacidades internas**, reconociendo que la tecnología por sí sola no garantiza una transformación efectiva. A través de instancias de formación, sensibilización y capacitación, la iniciativa promueve la construcción de una cultura organizacional orientada al uso de datos, a la mejora continua y a la adopción progresiva de prácticas digitales. Este enfoque resulta especialmente relevante en empresas familiares y PyMEs industriales, donde la resistencia al cambio y la dependencia de prácticas tradicionales pueden constituir obstáculos significativos para la implementación del paradigma 4.0.

Desde una perspectiva más amplia, la experiencia de RUTA X pone de manifiesto la importancia de las **instituciones intermedias** en los procesos de modernización productiva. La literatura internacional destaca que los países que han avanzado con mayor éxito en la Industria 4.0 han contado con plataformas institucionales capaces de articular políticas públicas, conocimiento técnico y necesidades empresariales. En este sentido, RUTA X puede ser interpretada como un intento de adaptar estos modelos al contexto argentino, contribuyendo a reducir la brecha entre los objetivos de la política industrial y la realidad cotidiana de las PyMEs.

En síntesis, la existencia de ecosistemas institucionales como RUTA X refuerza la idea de que la transformación digital de las PyMEs industriales no es un proceso individual ni espontáneo, sino el resultado de una **articulación inteligente entre empresas, Estado e instituciones intermedias**. Incorporar el análisis de estas iniciativas permite enriquecer el marco teórico de la Industria 4.0, integrando la dimensión tecnológica y organizacional con

el rol del entorno institucional, aspecto clave para evaluar la viabilidad real de la transformación digital en economías emergentes como la argentina.

Capítulo 2: La industria 4.0 como modelo productivo basado en datos, integración y flexibilidad.

2.1 Introducción conceptual: la Industria 4.0 como nueva era productiva

La Industria 4.0 puede ser entendida como **la nueva era del desarrollo industrial**, caracterizada por la convergencia entre tecnologías digitales, sistemas productivos y gestión empresarial basada en datos. A diferencia de las transformaciones industriales previas, este nuevo paradigma no se limita a la incorporación de maquinaria más eficiente o a la automatización de tareas aisladas, sino que implica una **reconfiguración profunda de la forma en que las empresas producen, gestionan información y toman decisiones**.

En términos generales, la Industria 4.0 surge como respuesta a un contexto global marcado por una creciente complejidad de los mercados, una mayor exigencia por parte de los clientes, ciclos de vida de los productos cada vez más cortos y una presión constante por mejorar la eficiencia y la competitividad. En este escenario, los modelos productivos tradicionales — basados en estructuras rígidas, planificación estática y toma de decisiones fundamentalmente intuitiva— resultan insuficientes para sostener el desempeño de las organizaciones industriales en el largo plazo.

Desde una perspectiva conceptual, la Industria 4.0 representa un **cambio de era**, en el cual la información y los datos adquieren un rol central comparable al que tuvieron, en etapas anteriores, el capital físico o la mano de obra. La posibilidad de capturar, procesar y analizar grandes volúmenes de datos en tiempo real permite a las empresas comprender mejor sus procesos, anticipar desvíos, optimizar recursos y responder con mayor rapidez a las demandas del entorno. En este sentido, la Industria 4.0 no debe ser interpretada únicamente como una evolución tecnológica, sino como un nuevo modelo de organización productiva y empresarial.

Diversos organismos internacionales coinciden en señalar que la Industria 4.0 constituye uno de los principales motores de transformación económica a nivel global. De acuerdo con el Foro Económico Mundial, la digitalización industrial

tiene el potencial de generar incrementos significativos en la productividad y en la eficiencia operativa, al tiempo que redefine los modelos de negocio tradicionales (World Economic Forum, 2016). En la misma línea, estudios de la OCDE y la CEPAL destacan que la adopción de tecnologías digitales avanzadas se ha convertido en un factor clave para la competitividad de las empresas industriales, tanto en economías desarrolladas como en países emergentes.

No obstante, el carácter de “nueva era” de la Industria 4.0 no se explica únicamente por la disponibilidad de nuevas tecnologías, sino por **la integración sistemática de dichas tecnologías en los procesos de gestión y toma de decisiones**. A diferencia de la Industria 3.0, donde la automatización se orientaba principalmente a mejorar la eficiencia de tareas específicas, la Industria 4.0 propone un enfoque integral, en el cual los sistemas productivos, logísticos, comerciales y administrativos se encuentran interconectados y coordinados a través de plataformas digitales.

En este marco, la Industria 4.0 introduce una lógica de funcionamiento basada en la **interacción permanente entre personas, procesos y tecnología**, dando lugar a organizaciones más flexibles, adaptativas y orientadas a la mejora continua. Esta lógica resulta especialmente relevante para las pequeñas y medianas empresas industriales, que operan en entornos altamente competitivos y con recursos limitados, y que requieren herramientas que les permitan mejorar su desempeño sin necesariamente replicar los modelos de las grandes corporaciones.

Desde el punto de vista académico, caracterizar la Industria 4.0 implica superar definiciones reduccionistas y avanzar hacia una comprensión más amplia del fenómeno. No se trata simplemente de identificar qué tecnologías la componen, sino de analizar **qué principios la sustentan, cómo transforma la gestión empresarial y qué implicancias tiene para distintos tipos de organizaciones**. Esta caracterización resulta fundamental para evitar enfoques simplistas que asocian la Industria 4.0 únicamente con

grandes inversiones o con sectores altamente tecnificados, desconociendo su potencial aplicación en contextos productivos diversos.

En el caso de las PYMEs industriales, la Industria 4.0 se presenta simultáneamente como un desafío y una oportunidad. Por un lado, la adopción de este paradigma exige repensar procesos, desarrollar nuevas capacidades y realizar inversiones estratégicas. Por otro, ofrece la posibilidad de mejorar la eficiencia operativa, diferenciar la oferta, fortalecer la relación con los clientes y competir en mejores condiciones en mercados cada vez más exigentes. Comprender la Industria 4.0 como una nueva era productiva permite, entonces, analizar su implementación desde una perspectiva realista, gradual y adaptada a la escala y características de las PYMEs.

En este sentido, el presente capítulo se propone desarrollar una caracterización profunda de la Industria 4.0, abordando sus fundamentos conceptuales, sus principios estructurales y su impacto en la gestión empresarial. Esta caracterización constituye la base necesaria para, en los capítulos siguientes, analizar el grado de preparación de una PYME industrial argentina frente a este paradigma y evaluar las condiciones que facilitan su implementación efectiva.

En este sentido, comprender a la Industria 4.0 como una nueva era productiva implica reconocer que su adopción no responde a un proceso lineal ni homogéneo. Por el contrario, las empresas industriales transitan trayectorias diferenciadas, condicionadas por su punto de partida tecnológico, su estructura organizacional y su estrategia competitiva. Esta heterogeneidad resulta particularmente evidente en el caso de las PYMEs, donde la implementación del paradigma 4.0 suele desarrollarse de manera progresiva, combinando prácticas tradicionales con nuevas herramientas digitales

2.2 La Industria 4.0 como cambio de paradigma industrial y empresarial

La Industria 4.0 no puede ser comprendida únicamente como una evolución incremental de los modelos productivos anteriores, sino como un **cambio de paradigma** que redefine la lógica bajo la cual se organizan y gestionan las

empresas industriales. Este cambio no se limita a la incorporación de nuevas tecnologías, sino que involucra una transformación profunda en la forma de concebir la producción, la gestión de la información y la toma de decisiones empresariales.

En los modelos industriales tradicionales, propios de la Industria 2.0 y 3.0, la producción se estructuraba sobre la base de procesos relativamente estables, planificación rígida y una clara separación entre las áreas operativas y las áreas administrativas. La información fluía de manera fragmentada, con tiempos de respuesta elevados, y las decisiones estratégicas se apoyaban en gran medida en la experiencia acumulada de los directivos y en datos históricos con bajo nivel de actualización. Si bien la automatización introducida durante la Industria 3.0 permitió mejorar la eficiencia y reducir costos, no logró resolver de manera integral los problemas asociados a la complejidad creciente de los mercados y a la necesidad de flexibilidad.

La Industria 4.0 introduce una lógica distinta, en la cual la **información en tiempo real** y la **interconexión de los sistemas** se convierten en elementos centrales del funcionamiento organizacional. En este nuevo paradigma, los procesos productivos dejan de ser estructuras cerradas y lineales para transformarse en sistemas dinámicos, capaces de adaptarse a cambios en la demanda, a variaciones en la disponibilidad de insumos y a requerimientos específicos de los clientes. Esta capacidad de adaptación constituye uno de los rasgos distintivos de la nueva era industrial.

Desde una perspectiva empresarial, el cambio de paradigma se manifiesta en la transición desde modelos de gestión basados en la planificación estática hacia modelos apoyados en la **gestión continua y basada en datos**. En la Industria 4.0, la información deja de ser un subproducto de la operación para convertirse en un activo estratégico. La posibilidad de monitorear procesos, analizar indicadores clave de desempeño y anticipar escenarios permite a las empresas tomar decisiones con mayor precisión y reducir la incertidumbre inherente a la actividad industrial.

Diversos estudios empíricos respaldan esta transformación. Según el informe “Global Lighthouse Network” del Foro Económico Mundial, las empresas que han avanzado en la adopción de principios de Industria 4.0 han logrado mejoras significativas en productividad, reducción de costos operativos y tiempos de respuesta al mercado, gracias a la integración de datos y sistemas digitales (World Economic Forum, 2019). Estos resultados ponen de manifiesto que el cambio de paradigma no es meramente conceptual, sino que tiene impactos concretos en el desempeño empresarial.

Otro aspecto central del cambio de paradigma introducido por la Industria 4.0 es la **redefinición de la relación entre tecnología y personas**. A diferencia de enfoques anteriores, donde la automatización se percibía como una sustitución directa de la mano de obra, la Industria 4.0 promueve una complementariedad entre capacidades humanas y capacidades tecnológicas. Las personas asumen roles más vinculados al análisis, la supervisión y la toma de decisiones, mientras que las tecnologías digitales se encargan de tareas repetitivas, de alta precisión o de procesamiento masivo de información.

Este enfoque tiene implicancias directas en la organización del trabajo y en la gestión del capital humano. La Industria 4.0 requiere perfiles laborales con mayores competencias digitales, capacidad de interpretación de datos y habilidades para interactuar con sistemas automatizados. Al mismo tiempo, demanda una gestión organizacional más flexible, capaz de integrar distintos niveles de información y de promover la colaboración entre áreas tradicionalmente separadas, como producción, logística, compras y comercial.

Desde el punto de vista estratégico, la Industria 4.0 también modifica las fuentes tradicionales de **ventaja competitiva**. Mientras que en modelos industriales previos la competitividad se apoyaba principalmente en la escala, la reducción de costos y la estandarización, en la nueva era adquieren relevancia factores como la capacidad de personalización, la velocidad de respuesta, la trazabilidad y la calidad de la información disponible. Empresas de distintos sectores han logrado diferenciarse no solo por lo que producen,

sino por cómo gestionan sus procesos y utilizan los datos generados a lo largo de la cadena de valor.

Un ejemplo ilustrativo de este cambio puede observarse en empresas industriales que han incorporado sistemas de monitoreo en tiempo real para optimizar sus operaciones. Compañías como Siemens y Bosch han reportado mejoras sustanciales en eficiencia y reducción de desperdicios a partir de la integración de datos de planta con sistemas de gestión, lo que les permitió anticipar fallas, ajustar parámetros de producción y mejorar la calidad de sus productos (Siemens, 2020; Bosch, 2021). Estos casos reflejan cómo el cambio de paradigma se traduce en una nueva forma de gestionar la producción, más orientada al aprendizaje continuo y a la mejora basada en información.

En el contexto de las PYMEs industriales, el cambio de paradigma asociado a la Industria 4.0 adquiere características particulares. A diferencia de las grandes corporaciones, las PYMEs suelen contar con estructuras organizacionales más simples y una mayor cercanía entre los decisores y los procesos operativos. Esta característica puede facilitar la adopción de modelos de gestión más ágiles y la implementación progresiva de principios 4.0, siempre que exista una comprensión clara del paradigma y una estrategia adecuada de adaptación.

No obstante, también es necesario reconocer que el cambio de paradigma implica desafíos significativos para las PYMEs, especialmente en términos de inversión, capacitación y gestión del cambio. La transición hacia la Industria 4.0 requiere abandonar prácticas arraigadas y adoptar nuevas formas de trabajo, lo que puede generar resistencias internas si no se gestiona de manera adecuada. Por ello, comprender la Industria 4.0 como un cambio de paradigma resulta fundamental para diseñar estrategias de implementación realistas y sostenibles.

En síntesis, la Industria 4.0 representa un **cambio profundo en la forma de concebir la producción y la gestión empresarial**, basado en la integración de sistemas, el uso estratégico de datos y la complementariedad entre

personas y tecnología. Este cambio de paradigma redefine las bases de la competitividad industrial y sienta las condiciones para el desarrollo de modelos productivos más flexibles, eficientes y orientados al cliente. Entender esta transformación resulta indispensable para analizar, en los apartados siguientes, los fundamentos estructurales del modelo Industria 4.0 y su aplicación en distintos contextos empresariales.

Desde esta perspectiva, el cambio de paradigma introducido por la Industria 4.0 exige revisar no solo los sistemas productivos, sino también los modelos mentales con los que se toman decisiones en las organizaciones industriales. La transición hacia esquemas basados en datos, integración y flexibilidad implica abandonar enfoques reactivos y fragmentados, adoptando una visión sistémica del negocio. Este desafío es particularmente relevante para las PYMEs industriales, donde la cercanía entre gestión y operación puede facilitar el cambio, pero también amplificar sus resistencias.

2.3 Fundamentos estructurales del modelo Industria 4.0

La Industria 4.0 se sustenta en un conjunto de **fundamentos estructurales** que definen su lógica de funcionamiento y la diferencian de los modelos industriales previos. Estos fundamentos no deben ser interpretados como elementos aislados, sino como **principios interrelacionados** que, en conjunto, configuran un nuevo modelo de organización de la producción y de gestión empresarial. La correcta comprensión de estos fundamentos resulta indispensable para caracterizar el concepto de Industria 4.0 y para analizar posteriormente su grado de aplicación en distintos contextos organizacionales.

Entre los principales fundamentos estructurales del modelo Industria 4.0 se destacan la **integración de procesos**, la **interconexión de sistemas**, la **digitalización de la información** y la **flexibilidad operativa**, todos ellos articulados a partir del uso intensivo de datos. Estos principios constituyen la base sobre la cual se desarrollan las tecnologías habilitantes y las nuevas formas de gestión propias de esta nueva era industrial.

2.3. Integración y digitalización de los procesos productivos

Uno de los pilares fundamentales de la Industria 4.0 es la **integración de los procesos productivos**, tanto a nivel interno como a lo largo de la cadena de valor. En los modelos industriales tradicionales, los procesos se encontraban organizados en compartimentos relativamente estancos, con escasa comunicación entre áreas y con flujos de información fragmentados. Esta fragmentación generaba ineficiencias, duplicación de tareas y dificultades para obtener una visión integral del funcionamiento de la empresa.

La Industria 4.0 propone superar esta lógica mediante la **integración vertical y horizontal** de los procesos. La integración vertical refiere a la conexión entre los distintos niveles de la organización, desde la operación en planta hasta los sistemas de planificación, control y gestión estratégica. La integración horizontal, en cambio, implica la articulación entre las distintas áreas internas de la empresa —producción, compras, logística, comercial, administración— y su vinculación con actores externos, como proveedores y clientes.

La digitalización cumple un rol central en este proceso de integración. La conversión de la información en datos digitales estructurados permite que los distintos sistemas “hablen entre sí” y que la información fluya de manera continua y coherente. En este sentido, la digitalización no debe ser entendida como un fin en sí mismo, sino como un **habilitador de la integración**, que permite eliminar barreras entre procesos y facilitar la coordinación organizacional.

Diversos estudios señalan que las empresas que logran integrar digitalmente sus procesos presentan mejoras significativas en eficiencia operativa, reducción de errores y capacidad de respuesta al mercado. Según un informe de McKinsey & Company, la integración de datos a lo largo de la cadena de valor puede generar incrementos de productividad de entre un 15 % y un 30 %, dependiendo del sector industrial (McKinsey, 2020). Estos resultados

ponen de manifiesto que la integración constituye uno de los fundamentos más relevantes del modelo Industria 4.0.

Para las PYMEs industriales, la integración de procesos representa tanto una oportunidad como un desafío. Si bien estas organizaciones suelen contar con estructuras menos complejas que las grandes empresas, también enfrentan limitaciones en términos de recursos y capacidades tecnológicas. En este contexto, la Industria 4.0 no exige necesariamente una integración total e inmediata, sino que puede abordarse de manera progresiva, comenzando por la digitalización y vinculación de los procesos más críticos para el negocio.

2.3.1 Interconexión y sistemas ciberfísicos

Otro fundamento estructural central de la Industria 4.0 es la **interconexión de sistemas**, que se materializa a través de los denominados **sistemas ciberfísicos**. Estos sistemas combinan componentes físicos —máquinas, equipos, sensores— con componentes digitales —software, redes, plataformas de datos—, permitiendo una interacción continua entre el mundo físico y el mundo digital.

La interconexión posibilita que los sistemas productivos generen información de manera autónoma, la transmitan a plataformas digitales y la utilicen para ajustar su funcionamiento. De este modo, las decisiones dejan de depender exclusivamente de la intervención humana directa y pasan a apoyarse en mecanismos automáticos o semiautomáticos basados en datos. Este principio introduce una nueva lógica de control y supervisión de los procesos industriales, caracterizada por una mayor precisión y capacidad de respuesta.

En el marco de la Industria 4.0, la interconexión no se limita a la planta productiva, sino que se extiende a lo largo de toda la organización y su entorno. La conexión entre sistemas de producción, sistemas de gestión, plataformas logísticas y herramientas comerciales permite construir una visión

integral del negocio, donde cada evento operativo tiene impacto inmediato en la planificación y la toma de decisiones.

Ejemplos de esta interconexión pueden observarse en empresas que han implementado sistemas de monitoreo en tiempo real de sus procesos productivos. Compañías como Siemens y General Electric han desarrollado plataformas digitales que integran datos provenientes de sensores instalados en equipos industriales, permitiendo anticipar fallas, optimizar mantenimientos y reducir tiempos de inactividad (GE Digital, 2019; Siemens, 2020). Estos casos ilustran cómo la interconexión constituye un fundamento estructural del modelo Industria 4.0, más allá del sector o tamaño de la empresa.

En el caso de las PYMEs, la implementación de sistemas ciberfísicos suele adoptar formas más simples, adaptadas a su escala y complejidad. No obstante, el principio subyacente es el mismo: **conectar procesos, capturar información y utilizarla para mejorar la gestión**. La interconexión, en este sentido, debe ser entendida como un continuo, en el cual las empresas avanzan gradualmente en función de sus capacidades y objetivos estratégicos.

2.3.2 Flexibilidad, personalización y eficiencia operativa

La **flexibilidad** constituye otro de los fundamentos estructurales del modelo Industria 4.0 y representa una de sus principales ventajas frente a los modelos industriales tradicionales. Mientras que estos últimos se basaban en la estandarización y la producción en grandes series para lograr eficiencia, la Industria 4.0 permite combinar eficiencia con capacidad de adaptación y personalización.

La flexibilidad se manifiesta en la posibilidad de ajustar rápidamente los procesos productivos ante cambios en la demanda, variaciones en los insumos o requerimientos específicos de los clientes. Esta capacidad resulta especialmente relevante en mercados caracterizados por una creciente volatilidad y por una demanda cada vez más segmentada. En este contexto, la Industria 4.0 habilita modelos de producción más dinámicos, capaces de

responder a condiciones cambiantes sin incurrir en pérdidas significativas de eficiencia.

La personalización de productos y servicios es una consecuencia directa de esta flexibilidad. Gracias a la integración de sistemas y al uso de datos, las empresas pueden adaptar sus procesos productivos a requerimientos específicos, ofreciendo soluciones a medida sin perder el control sobre los costos y la calidad. Este enfoque resulta particularmente atractivo para las PYMEs industriales, que suelen competir a partir de la diferenciación y la cercanía con el cliente.

Desde el punto de vista de la eficiencia operativa, la Industria 4.0 no persigue únicamente la reducción de costos, sino la **optimización integral de los recursos**. La posibilidad de monitorear procesos en tiempo real, analizar indicadores clave y ajustar parámetros operativos permite reducir desperdicios, mejorar la utilización de activos y aumentar la productividad. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la adopción de prácticas asociadas a la Industria 4.0 puede contribuir significativamente a mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental de las actividades industriales (OCDE, 2021).

En síntesis, la flexibilidad, la personalización y la eficiencia no deben ser consideradas objetivos aislados, sino resultados de la aplicación coherente de los fundamentos estructurales del modelo Industria 4.0. La articulación entre integración, interconexión y uso de datos permite a las empresas construir sistemas productivos más adaptativos y competitivos, alineados con las exigencias de la nueva era industrial.

2.4 La centralidad de los datos en la Industria 4.0

Uno de los rasgos más distintivos de la Industria 4.0 es la **centralidad de los datos** como eje estructurante del modelo productivo y de gestión. A diferencia de los paradigmas industriales anteriores, donde la información cumplía un rol secundario o meramente descriptivo, en la Industria 4.0 los datos se

convierten en un **factor productivo estratégico**, comparable en importancia al capital físico, la tecnología o el trabajo humano.

Este cambio implica una transformación profunda en la manera en que las empresas industriales generan valor. La capacidad de capturar, procesar, analizar y utilizar datos en tiempo real permite comprender mejor los procesos, reducir la incertidumbre y tomar decisiones más informadas. En este sentido, la Industria 4.0 puede ser entendida como un modelo industrial **data-driven**, donde la información constituye la base sobre la cual se diseñan, controlan y optimizan los sistemas productivos.

2.4.1 Los datos como nuevo factor productivo

En los modelos industriales tradicionales, los datos eran utilizados principalmente con fines administrativos o contables, y su análisis se realizaba de manera ex post, una vez finalizados los procesos. Esta lógica limitaba la capacidad de reacción de las empresas frente a desvíos operativos, fallas productivas o cambios en la demanda. La Industria 4.0 rompe con este esquema al situar a los datos en el centro de la gestión cotidiana.

Diversos autores y organismos internacionales sostienen que los datos se han convertido en un **nuevo factor de producción**, cuya correcta gestión impacta directamente en la productividad y la competitividad de las empresas. Según un informe del Banco Interamericano de Desarrollo, las organizaciones que utilizan datos de manera sistemática en sus procesos de toma de decisiones presentan mejores indicadores de eficiencia, menores costos operativos y mayor capacidad de adaptación al entorno (BID, 2020).

En el contexto de la Industria 4.0, los datos provienen de múltiples fuentes: sensores instalados en equipos productivos, sistemas de gestión empresarial, plataformas logísticas, interacciones con clientes y proveedores, entre otros. La integración de estas fuentes permite construir una visión integral del

funcionamiento de la empresa, superando la fragmentación informativa característica de los modelos industriales tradicionales.

Para las PYMEs industriales, la valorización de los datos como factor productivo representa una oportunidad significativa. Si bien estas empresas suelen operar con menores volúmenes de información que las grandes corporaciones, su cercanía a los procesos y a los decisores facilita la utilización práctica de los datos disponibles. De este modo, la Industria 4.0 no exige necesariamente grandes infraestructuras de datos, sino una **gestión consciente y estratégica de la información existente**.

2.4.2 Big Data y analítica como soporte de la toma de decisiones

La noción de Big Data se refiere a la gestión y análisis de grandes volúmenes de datos caracterizados por su variedad, velocidad y complejidad. En el marco de la Industria 4.0, el Big Data y las herramientas de analítica avanzada permiten transformar datos brutos en información relevante para la toma de decisiones operativas y estratégicas.

La analítica de datos cumple un rol central en la identificación de patrones, la detección de anomalías y la generación de conocimiento organizacional. A través de técnicas estadísticas y modelos predictivos, las empresas pueden anticipar comportamientos, optimizar procesos y reducir riesgos. Este enfoque contrasta con la gestión tradicional, basada en indicadores estáticos y reportes periódicos con escasa capacidad de anticipación.

Según un estudio de McKinsey & Company, las empresas industriales que incorporan analítica avanzada en sus procesos de decisión pueden incrementar su productividad hasta en un 20 % y reducir costos operativos de manera significativa, especialmente en áreas como mantenimiento, logística y planificación de la producción (McKinsey, 2018). Estos resultados evidencian que la analítica no constituye un complemento accesorio, sino un componente central del modelo Industria 4.0.

En la práctica, la utilización de Big Data en la Industria 4.0 se traduce en aplicaciones concretas como el mantenimiento predictivo, la optimización de inventarios, la planificación dinámica de la producción y la mejora del servicio al cliente. Empresas líderes a nivel global, como Bosch y Siemens, han desarrollado plataformas de analítica industrial que integran datos provenientes de distintas etapas del proceso productivo, permitiendo mejorar la eficiencia y reducir tiempos de inactividad (Bosch, 2021; Siemens, 2020).

Para las PYMEs, la adopción de analítica de datos no implica necesariamente la implementación de soluciones complejas o costosas. El uso de tableros de control, indicadores clave de desempeño y herramientas de visualización puede constituir un primer paso relevante hacia una gestión basada en datos, alineada con los principios de la Industria 4.0.

2.4.3 De la gestión reactiva a la gestión predictiva

Uno de los cambios más significativos introducidos por la centralidad de los datos en la Industria 4.0 es la transición desde modelos de gestión **reactivos** hacia modelos **predictivos**. En los enfoques tradicionales, las decisiones se tomaban en respuesta a problemas ya ocurridos, basándose en información histórica y con escaso margen de anticipación. La Industria 4.0, en cambio, permite identificar tendencias y escenarios futuros a partir del análisis de datos en tiempo real.

La gestión predictiva se apoya en la capacidad de anticipar eventos, evaluar probabilidades y tomar decisiones preventivas. En el ámbito industrial, esto se traduce en la posibilidad de prever fallas en equipos, ajustar planes de producción antes de que se produzcan cuellos de botella y planificar el abastecimiento de insumos de manera más eficiente. Este enfoque reduce la incertidumbre y mejora la estabilidad operativa de las organizaciones.

Un informe de la Organización Internacional del Trabajo señala que la incorporación de modelos predictivos en la gestión industrial permite mejorar

la utilización de los recursos y reducir pérdidas asociadas a paradas no planificadas y errores de planificación (OIT, 2019). Estos beneficios resultan especialmente relevantes para las PYMEs, donde los márgenes de error suelen ser más acotados y las consecuencias de una mala decisión pueden impactar de manera significativa en la continuidad del negocio.

La transición hacia una gestión predictiva también tiene implicancias organizacionales. Requiere desarrollar capacidades analíticas, promover una cultura orientada al uso de datos y redefinir los procesos de toma de decisiones. En este sentido, la Industria 4.0 no reemplaza el juicio humano, sino que lo complementa, proporcionando información de mayor calidad para apoyar la experiencia y el conocimiento de los decisores.

2.4.4 Evidencia empírica y datos estadísticos sobre el impacto del uso de datos

La relevancia de los datos en la Industria 4.0 se ve respaldada por una amplia evidencia empírica. De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), las empresas que avanzan en procesos de digitalización y uso de datos presentan mejores indicadores de productividad y mayor capacidad de inserción en cadenas de valor más complejas (CEPAL, 2021). No obstante, el mismo organismo señala que existe una brecha significativa entre grandes empresas y PYMEs en cuanto al aprovechamiento efectivo de la información.

En el caso de América Latina, estudios del Banco Mundial y del BID indican que menos del 30 % de las PYMEs industriales utilizan herramientas avanzadas de análisis de datos, lo que limita su capacidad para adoptar plenamente los principios de la Industria 4.0 (Banco Mundial, 2020). Esta brecha no se explica únicamente por restricciones tecnológicas, sino también por factores organizacionales, culturales y de gestión.

En Argentina, relevamientos realizados por la Unión Industrial Argentina muestran que, si bien un porcentaje creciente de empresas ha avanzado en la digitalización de procesos administrativos y productivos, el uso estratégico de datos para la toma de decisiones aún se encuentra en una etapa incipiente, especialmente en el segmento de las PYMEs. Estos datos refuerzan la idea de que la centralidad de los datos constituye uno de los principales desafíos —y oportunidades— para la implementación efectiva de la Industria 4.0 en el país.

2.4.5 Los datos como nexo entre tecnología, procesos y personas

Finalmente, resulta importante destacar que los datos cumplen un rol articulador entre los distintos componentes del modelo Industria 4.0. La información generada por los sistemas tecnológicos adquiere valor en la medida en que es utilizada por las personas para mejorar los procesos y tomar decisiones más eficientes. De este modo, los datos actúan como un **nexo entre tecnología, procesos y personas**, reforzando el carácter socio-técnico del paradigma.

En este sentido, la centralidad de los datos no debe interpretarse como una sustitución del factor humano, sino como una herramienta que amplía las capacidades de análisis y gestión de las organizaciones. La Industria 4.0 promueve un enfoque colaborativo, donde la información fluye entre distintos niveles y áreas, favoreciendo la coordinación y la mejora continua.

En síntesis, la centralidad de los datos constituye uno de los fundamentos más relevantes de la Industria 4.0 y explica en gran medida su carácter de nueva era industrial. La capacidad de transformar información en conocimiento y de utilizar ese conocimiento para anticipar escenarios y optimizar procesos define la esencia del paradigma 4.0 y sienta las bases para su aplicación en empresas de distinto tamaño y sector.

No obstante, la centralidad de los datos también plantea desafíos relevantes para las PYMEs industriales. La disponibilidad limitada de información, la calidad desigual de los datos y la falta de capacidades analíticas internas pueden restringir el aprovechamiento efectivo de enfoques data-driven. En este contexto, la transición hacia una gestión basada en datos suele requerir procesos de aprendizaje organizacional, inversiones progresivas y un equilibrio entre la información cuantitativa y la experiencia de los decisores.

2.5 Tecnologías habilitantes y su aplicación en empresas reales

Las tecnologías asociadas a la Industria 4.0 suelen ser presentadas como el elemento más visible del paradigma, lo que ha llevado, en muchos casos, a una interpretación reducida del concepto, centrada exclusivamente en la incorporación de soluciones tecnológicas avanzadas. Sin embargo, desde una perspectiva conceptual y de gestión, estas tecnologías deben ser entendidas como **habilitadores del modelo**, cuyo valor depende de su correcta integración con los procesos productivos y la estrategia empresarial.

En este sentido, la caracterización de la Industria 4.0 no requiere únicamente identificar qué tecnologías la componen, sino analizar **cómo estas tecnologías son utilizadas en contextos empresariales concretos**, qué problemas permiten resolver y qué resultados generan. A continuación, se presentan las principales tecnologías habilitantes del paradigma 4.0, junto con ejemplos de aplicación en empresas reales, tanto a nivel internacional como regional.

2.5.1 Internet de las Cosas (IoT) y automatización inteligente

El Internet de las Cosas (IoT) constituye una de las tecnologías más representativas de la Industria 4.0, al permitir la conexión de dispositivos físicos —máquinas, sensores, equipos— a redes digitales capaces de capturar y transmitir información en tiempo real. Esta tecnología habilita el

monitoreo continuo de los procesos productivos y constituye la base para una gestión más precisa y proactiva.

En empresas industriales, la aplicación del IoT se traduce en la instalación de sensores que registran variables como temperatura, presión, consumo energético, niveles de producción o estado de los equipos. La información generada permite detectar desvíos operativos, anticipar fallas y optimizar el uso de los recursos. De acuerdo con un informe de Deloitte, las empresas que implementan soluciones de IoT industrial pueden reducir costos de mantenimiento hasta en un 25 % y disminuir tiempos de inactividad no planificados de manera significativa (Deloitte, 2020).

Un ejemplo emblemático de aplicación del IoT puede observarse en la empresa Siemens, que ha desarrollado fábricas digitales donde los equipos productivos se encuentran interconectados y generan información de manera continua. A partir de estos datos, la compañía ha logrado optimizar sus procesos de producción, mejorar la calidad de sus productos y reducir desperdicios (Siemens, 2020). Si bien se trata de una gran empresa, estos principios también pueden aplicarse, de manera adaptada, en organizaciones de menor escala.

En el ámbito de las PYMEs, el IoT suele adoptarse de forma progresiva, comenzando por procesos críticos o cuellos de botella. La instalación de sensores básicos y la utilización de plataformas de monitoreo accesibles permiten obtener beneficios concretos sin incurrir en inversiones excesivas, alineándose con la lógica gradual de implementación propia de este tipo de empresas.

2.5.2 Inteligencia artificial y analítica avanzada

La inteligencia artificial (IA) y la analítica avanzada representan una evolución en la forma de procesar y utilizar los datos generados por los sistemas industriales. A través de algoritmos de aprendizaje automático y modelos

predictivos, estas tecnologías permiten identificar patrones complejos, anticipar comportamientos y optimizar decisiones de manera automatizada o semiautomatizada.

En el contexto de la Industria 4.0, la IA se aplica en áreas como el mantenimiento predictivo, la optimización de procesos, el control de calidad y la planificación de la producción. Por ejemplo, empresas del sector automotriz han implementado sistemas de visión artificial para detectar defectos en tiempo real, reduciendo significativamente el desperdicio y mejorando la consistencia de la producción. Según datos de PwC, la incorporación de inteligencia artificial en procesos industriales puede incrementar la productividad laboral hasta en un 15 % en determinados sectores (PwC, 2019).

Un caso destacado es el de Bosch, que ha integrado soluciones de inteligencia artificial en sus plantas productivas para analizar datos provenientes de sensores y sistemas de control. Estas soluciones permiten anticipar fallas en los equipos, ajustar parámetros de producción y mejorar la eficiencia energética (Bosch, 2021). La experiencia de Bosch evidencia cómo la IA, integrada a un modelo de gestión basado en datos, puede generar mejoras sostenidas en el desempeño industrial.

Para las PYMEs, la adopción de inteligencia artificial suele enfrentar mayores barreras, relacionadas con la disponibilidad de datos, las capacidades internas y los costos percibidos. No obstante, el desarrollo de soluciones accesibles y plataformas en la nube ha ampliado las posibilidades de implementación, permitiendo a empresas de menor escala incorporar herramientas de analítica avanzada de manera gradual y focalizada.

2.5.3 Sistemas de información integrados y plataformas digitales

Los sistemas de información integrados constituyen otro componente fundamental de la Industria 4.0, al facilitar la conexión entre los distintos

procesos y áreas de la empresa. Plataformas como los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP), los sistemas de ejecución de manufactura (MES) y las herramientas de inteligencia de negocios (BI) permiten centralizar la información, mejorar la trazabilidad y apoyar la toma de decisiones.

En el marco del paradigma 4.0, estos sistemas dejan de cumplir un rol meramente administrativo para convertirse en **plataformas estratégicas de gestión**, capaces de integrar datos provenientes de la operación, la logística, el área comercial y el abastecimiento. Esta integración resulta clave para construir una visión integral del negocio y para coordinar las distintas funciones organizacionales.

Empresas industriales que han avanzado en la integración de sus sistemas de información reportan mejoras significativas en la planificación y el control de la producción. De acuerdo con la OCDE, la implementación de sistemas digitales integrados contribuye a reducir errores de planificación y a mejorar la eficiencia en la asignación de recursos, especialmente en entornos productivos complejos (OCDE, 2021).

En el caso de las PYMEs, la implementación de sistemas integrados suele realizarse de manera progresiva, combinando soluciones propias con herramientas comerciales. La clave radica en asegurar la coherencia de la información y en evitar la proliferación de sistemas aislados que dificulten la gestión y la toma de decisiones.

2.5.4 Evidencia empírica sobre la adopción de tecnologías 4.0

La adopción de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 presenta un grado de avance desigual entre países, sectores y tamaños de empresa. Según datos del Foro Económico Mundial, las empresas que han incorporado de manera integral tecnologías digitales avanzadas han logrado mejoras sustanciales en

eficiencia, calidad y flexibilidad, consolidando ventajas competitivas sostenibles (World Economic Forum, 2019).

En América Latina, sin embargo, diversos estudios señalan que la adopción de tecnologías 4.0 aún se encuentra en una etapa incipiente, especialmente en el segmento de las PYMEs. La CEPAL destaca que, si bien existe un creciente interés por la digitalización, persisten brechas significativas en términos de capacidades tecnológicas y organizacionales (CEPAL, 2021). Estas brechas refuerzan la necesidad de enfoques de implementación adaptados a la realidad regional.

En Argentina, relevamientos realizados por la Unión Industrial Argentina indican que un porcentaje reducido de PYMEs industriales ha avanzado en la adopción de tecnologías como IoT, analítica de datos o automatización avanzada, aunque se observa una tendencia creciente hacia la digitalización de procesos clave. Este escenario pone de relieve la importancia de comprender las tecnologías 4.0 no como soluciones aisladas, sino como componentes de un modelo integral que debe ser abordado de manera estratégica.

2.5.5 Tecnologías como medios y no como fines

Finalmente, resulta fundamental destacar que las tecnologías de la Industria 4.0 deben ser entendidas como **medios para alcanzar determinados objetivos empresariales**, y no como fines en sí mismas. La simple incorporación de soluciones tecnológicas no garantiza mejoras en el desempeño si no se encuentra acompañada por cambios en los procesos, la organización y la gestión.

Desde esta perspectiva, la caracterización de la Industria 4.0 implica reconocer que el valor de las tecnologías depende de su alineación con la estrategia de la empresa y de su integración con los fundamentos estructurales del modelo. Este enfoque resulta especialmente relevante para

las PYMEs industriales, donde las decisiones de inversión deben ser cuidadosamente evaluadas y priorizadas en función de su impacto real en la competitividad y la eficiencia.

2.6 Industria 4.0, gestión empresarial y competitividad

La Industria 4.0 no solo transforma los sistemas productivos, sino que introduce cambios sustanciales en la **gestión empresarial** y en las fuentes de **competitividad** de las organizaciones industriales. Desde esta perspectiva, el paradigma 4.0 debe ser analizado como un modelo que redefine la manera en que las empresas planifican, controlan y ejecutan sus estrategias, incorporando la información y los datos como ejes centrales del proceso de toma de decisiones.

En los modelos de gestión tradicionales, la estrategia empresarial se apoyaba fundamentalmente en factores como la escala, la eficiencia en costos y la estandarización de procesos. Si bien estos elementos continúan siendo relevantes, la Industria 4.0 amplía el abanico de variables estratégicas, incorporando dimensiones vinculadas a la flexibilidad, la capacidad de adaptación, la velocidad de respuesta y la utilización inteligente de la información.

2.6.1 Impacto de la Industria 4.0 en la estrategia empresarial

La incorporación de principios asociados a la Industria 4.0 permite a las empresas redefinir sus estrategias competitivas, orientándolas hacia modelos más dinámicos y basados en el conocimiento. La disponibilidad de información en tiempo real y la capacidad de análisis avanzado posibilitan una mejor comprensión del entorno, de los procesos internos y de las necesidades de los clientes.

Desde el punto de vista estratégico, la Industria 4.0 facilita la identificación de oportunidades de mejora y la formulación de estrategias más precisas. Las empresas pueden analizar de manera continua el desempeño de sus

procesos, evaluar el impacto de distintas decisiones y ajustar sus planes en función de la evolución del mercado. Este enfoque contrasta con la planificación tradicional, caracterizada por horizontes rígidos y una revisión periódica limitada.

Estudios realizados por el Foro Económico Mundial indican que las empresas que integran tecnologías digitales avanzadas en su estrategia logran una mayor alineación entre objetivos operativos y estratégicos, lo que se traduce en mejoras sostenidas en competitividad (World Economic Forum, 2019). En este sentido, la Industria 4.0 no solo introduce nuevas herramientas, sino que promueve una **forma diferente de pensar la estrategia**, más orientada al aprendizaje continuo y a la adaptación.

2.6.2 Control de gestión y toma de decisiones basada en datos

Uno de los impactos más significativos de la Industria 4.0 en la gestión empresarial se observa en el ámbito del **control de gestión**. La posibilidad de monitorear indicadores clave de desempeño en tiempo real permite a las empresas ejercer un control más efectivo sobre sus procesos, identificar desvíos de manera temprana y tomar decisiones correctivas con mayor rapidez.

En el marco del paradigma 4.0, el control de gestión deja de ser una función meramente retrospectiva para convertirse en un proceso dinámico y prospectivo. Los sistemas de información integrados y las herramientas de analítica facilitan la construcción de tableros de control que reflejan el estado actual de la organización y permiten evaluar escenarios futuros. Este enfoque resulta especialmente valioso en entornos productivos complejos, donde las decisiones deben tomarse con información actualizada y confiable.

De acuerdo con la OCDE, las empresas que utilizan sistemas de control basados en datos presentan una mayor capacidad para gestionar la incertidumbre y mejorar su desempeño operativo, en comparación con

aquellas que dependen exclusivamente de reportes periódicos tradicionales (OCDE, 2021). Estos resultados refuerzan la idea de que la Industria 4.0 contribuye a fortalecer la calidad de la gestión empresarial.

2.6.3 Nuevas fuentes de ventaja competitiva en la era 4.0

La Industria 4.0 redefine las **fuentes tradicionales de ventaja competitiva**. Mientras que en modelos industriales previos la competitividad se apoyaba principalmente en la reducción de costos y la eficiencia productiva, en la nueva era adquieren relevancia factores como la flexibilidad, la personalización, la calidad de la información y la capacidad de respuesta al cliente.

La posibilidad de ofrecer productos y servicios adaptados a requerimientos específicos, sin perder eficiencia, constituye una de las principales ventajas del modelo 4.0. Asimismo, la trazabilidad de los procesos y la disponibilidad de información detallada permiten mejorar la calidad, fortalecer la confianza de los clientes y cumplir con estándares cada vez más exigentes en términos regulatorios y ambientales.

Empresas que han avanzado en la adopción de principios de Industria 4.0 han logrado diferenciarse a partir de estas nuevas fuentes de competitividad. Por ejemplo, compañías del sector manufacturero han incorporado sistemas de monitoreo y análisis de datos que les permiten ajustar su producción en función de la demanda real, reduciendo inventarios y mejorando el nivel de servicio (McKinsey, 2020). Estos casos ilustran cómo la Industria 4.0 puede convertirse en un factor clave de diferenciación competitiva.

2.6.4 Implicancias para la gestión en PYMEs industriales

En el caso de las PYMEs industriales, la relación entre Industria 4.0, gestión empresarial y competitividad presenta características particulares. Estas organizaciones suelen operar con recursos limitados y estructuras

organizacionales menos formales, lo que condiciona sus posibilidades de inversión y su capacidad para adoptar tecnologías avanzadas de manera inmediata.

No obstante, la Industria 4.0 ofrece a las PYMEs la oportunidad de mejorar su competitividad a partir de la **optimización de la gestión**, más que de la simple incorporación de tecnología. La utilización de datos para la toma de decisiones, la integración de procesos y la mejora del control de gestión permiten a las PYMEs reducir ineficiencias, mejorar la planificación y fortalecer su posición competitiva, incluso sin alcanzar niveles de automatización propios de las grandes empresas.

La evidencia empírica sugiere que las PYMEs que adoptan enfoques de gestión alineados con los principios de la Industria 4.0 presentan un mejor desempeño en términos de productividad y sostenibilidad en el tiempo. Según la CEPAL, las empresas que combinan digitalización de procesos con mejoras en la gestión organizacional logran mayores beneficios que aquellas que se limitan a incorporar tecnología de manera aislada (CEPAL, 2021).

2.6.5 La Industria 4.0 como herramienta estratégica de largo plazo

Finalmente, es importante destacar que la Industria 4.0 debe ser concebida como una **herramienta estratégica de largo plazo**, y no como un conjunto de soluciones de corto plazo orientadas a resolver problemas puntuales. La adopción de este paradigma implica una visión estratégica que articula inversiones, desarrollo de capacidades y transformación organizacional.

Desde esta perspectiva, la Industria 4.0 contribuye a fortalecer la competitividad de las empresas industriales no solo a través de mejoras inmediatas en eficiencia, sino también mediante la construcción de capacidades que permiten sostener el desempeño en el tiempo. Para las PYMEs, esta visión resulta fundamental, ya que les permite abordar la

transformación digital de manera gradual, alineada con sus objetivos estratégicos y con su realidad operativa.

2.7 La Industria 4.0 en las PYMEs industriales: una caracterización específica

Si bien la Industria 4.0 suele asociarse en la literatura y en los discursos empresariales a grandes corporaciones y a contextos altamente tecnificados, su aplicación en el ámbito de las pequeñas y medianas empresas industriales presenta características particulares que requieren una caracterización específica. Las PYMEs operan en entornos productivos, organizacionales y financieros diferentes a los de las grandes empresas, lo que condiciona tanto sus posibilidades de adopción tecnológica como las estrategias de implementación del paradigma 4.0.

En las PYMEs industriales, la Industria 4.0 no se manifiesta como un proceso de transformación abrupto o integral, sino como una **evolución progresiva**, basada en la incorporación gradual de principios y herramientas digitales en función de las necesidades del negocio y de las capacidades internas. Este enfoque contrasta con los modelos de adopción observados en grandes empresas, donde la escala y los recursos permiten abordar procesos de transformación más amplios y simultáneos.

Uno de los rasgos distintivos de la Industria 4.0 en PYMEs es la **centralidad de la gestión** por sobre la tecnología. En este tipo de organizaciones, la mejora en la competitividad suele estar más asociada a la optimización de los procesos, la integración de la información y la mejora en la toma de decisiones que a la incorporación de tecnologías altamente sofisticadas. En este sentido, la Industria 4.0 se presenta como una oportunidad para fortalecer la gestión empresarial y mejorar la eficiencia operativa a partir del uso inteligente de los datos disponibles.

La evidencia empírica refuerza esta caracterización. Según estudios de la CEPAL y del Banco Interamericano de Desarrollo, las PYMEs que logran avances significativos en su desempeño no son necesariamente aquellas que

invierten mayores montos en tecnología, sino aquellas que articulan la digitalización con cambios organizacionales y mejoras en la gestión (CEPAL & BID, 2020). Estos estudios destacan que la adopción gradual de herramientas digitales, acompañada por capacitación y redefinición de procesos, genera impactos positivos sostenibles en el tiempo.

Otro aspecto relevante en la caracterización de la Industria 4.0 en PYMEs industriales es la **cercanía entre los decisores y los procesos operativos**. A diferencia de las grandes organizaciones, donde las decisiones suelen estar más alejadas de la operación diaria, en las PYMEs existe una mayor proximidad entre la dirección y la planta productiva. Esta característica puede facilitar la implementación de mejoras basadas en datos y la adaptación de los procesos, siempre que exista una comprensión clara del paradigma y un compromiso de la dirección con la transformación.

No obstante, también es necesario reconocer los desafíos que enfrentan las PYMEs en el camino hacia la Industria 4.0. Entre los principales obstáculos se destacan las limitaciones financieras, la falta de capacidades técnicas especializadas y la resistencia al cambio organizacional. Estos factores explican, en parte, la brecha existente en la adopción de tecnologías 4.0 entre PYMEs y grandes empresas, tanto en Argentina como en otros países de la región.

En este contexto, la caracterización de la Industria 4.0 en PYMEs industriales debe partir de una visión realista, que reconozca las restricciones existentes pero que, al mismo tiempo, identifique las oportunidades que ofrece el paradigma para mejorar la competitividad y la sostenibilidad de estas organizaciones. La Industria 4.0, entendida como un modelo flexible y adaptable, permite a las PYMEs avanzar en la transformación digital sin necesidad de replicar modelos ajenos a su escala y realidad productiva.

2.8 Síntesis conceptual y definición operativa de la Industria 4.0

A lo largo de este capítulo se ha desarrollado una caracterización integral del concepto y los fundamentos de la Industria 4.0, abordándola como un **modelo productivo, organizacional y de gestión propio de la nueva era industrial**. Este enfoque permite superar visiones reduccionistas centradas exclusivamente en la tecnología y comprender la Industria 4.0 como un paradigma que articula datos, procesos, personas y sistemas digitales.

La Industria 4.0 puede definirse, desde una perspectiva operativa, como un modelo de organización industrial basado en la integración y digitalización de los procesos, la interconexión de sistemas, el uso estratégico de datos y la adopción de tecnologías habilitantes, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la flexibilidad y la capacidad de toma de decisiones de las empresas. Esta definición enfatiza el carácter sistémico del paradigma y destaca la centralidad de la gestión y de la información en su implementación.

Uno de los principales aportes conceptuales de la Industria 4.0 radica en la transformación de la lógica de gestión empresarial. La transición desde modelos reactivos hacia enfoques predictivos y basados en datos redefine la forma en que las empresas planifican, controlan y ejecutan sus estrategias. En este sentido, la Industria 4.0 no reemplaza la experiencia ni el conocimiento acumulado de los decisores, sino que los complementa, proporcionando información de mayor calidad para reducir la incertidumbre y mejorar la calidad de las decisiones.

Asimismo, la caracterización desarrollada pone de relieve que la Industria 4.0 no constituye un estado final, sino un **proceso continuo de transformación**, que se construye de manera progresiva y se adapta a las características de cada organización. En el caso de las PYMEs industriales, esta perspectiva resulta fundamental para diseñar estrategias de adopción realistas, alineadas con sus capacidades y objetivos, y para evitar enfoques simplistas basados en la mera incorporación de tecnología.

En definitiva, la Industria 4.0 representa la nueva era del desarrollo industrial, en la cual la competitividad de las empresas depende cada vez más de su capacidad para integrar tecnología, gestión y datos de manera coherente y estratégica. Contar con una caracterización clara de este paradigma constituye un requisito indispensable para analizar, en los capítulos siguientes, el grado de preparación de una PYME industrial argentina frente a la Industria 4.0 y para identificar las condiciones clave que facilitan su implementación efectiva.

Capítulo 3: Análisis del proceso de transformación digital en una PyME industrial Argentina: el caso de Nutriterra S.A.

3.1 Presentación de la empresa Nutriterra S.A.

Nutriterra S.A. es una empresa industrial argentina con más de veinticinco años de trayectoria en el desarrollo y producción de fertilizantes líquidos a medida, orientados a las necesidades específicas de cada cultivo y condición de suelo. La empresa inició sus actividades en la provincia de San Juan, donde estableció su primera planta productiva, consolidándose progresivamente como un actor relevante dentro del sector de nutrición vegetal en la región.

En el marco de una estrategia de crecimiento sostenido y expansión territorial, Nutriterra inauguró en el año 2015 una segunda planta industrial en la localidad de Chilecito, provincia de La Rioja, con el objetivo de ampliar su capacidad productiva y mejorar la cobertura logística en el noroeste argentino. Posteriormente, en 2022, la empresa puso en funcionamiento una tercera planta en la provincia de Tucumán, fortaleciendo su presencia industrial y permitiendo una mayor proximidad a los principales polos productivos agrícolas del país. Asimismo, Nutriterra cuenta con oficinas comerciales y administrativas en la provincia de Mendoza, lo que contribuye a una gestión descentralizada y a una mejor atención de sus mercados.

Actualmente, la empresa comercializa sus productos en una amplia franja geográfica que abarca el cordón oeste de la Argentina, desde las provincias de Salta y Jujuy hasta Neuquén y Río Negro. Esta cobertura territorial refleja no solo la capacidad logística de la organización, sino también su posicionamiento como proveedor especializado en soluciones de nutrición vegetal adaptadas a distintos contextos productivos y agroecológicos.

La actividad principal de Nutriterra S.A. se centra en la producción de fertilizantes líquidos a medida, comúnmente denominados “soluciones madre”. Estos productos se elaboran en función de los requerimientos específicos de cada cliente, considerando variables como el tipo de cultivo,

las características del suelo, el sistema productivo y los objetivos de rendimiento. La empresa desarrolla una amplia familia de productos, que incluye soluciones nutricionales balanceadas, formulaciones específicas por cultivo, productos con micronutrientes y desarrollos especiales, sustentados en un fuerte componente de conocimiento técnico propio. Este enfoque personalizado constituye uno de los principales diferenciales competitivos de la firma y un elemento central de su modelo de negocio.

En términos de escala, Nutriterra S.A. emplea aproximadamente a 100 personas y registra un volumen de producción anual cercano a las 60.000 toneladas de fertilizantes líquidos, abasteciendo a más de 500 clientes activos. Estos indicadores permiten caracterizarla como una PYME industrial de mediana envergadura, con operaciones complejas y una estructura organizacional que requiere coordinación entre múltiples áreas funcionales y plantas productivas.

La estructura organizacional de la empresa se articula en torno a una Gerencia General, de carácter familiar, de la cual dependen cuatro áreas estratégicas: Administración y Finanzas, Compras, Comercial e Industrial. Estas gerencias concentran la toma de decisiones operativas y estratégicas de la organización, y a su vez coordinan el funcionamiento del resto de las áreas y procesos internos. De manera complementaria, Nutriterra cuenta con un departamento de Investigación y Desarrollo (I+D), orientado a la investigación continua, el desarrollo de nuevos productos y la mejora permanente de las formulaciones existentes, lo que refuerza su perfil innovador dentro del sector.

La toma de decisiones estratégicas se realiza de manera conjunta entre la gerencia familiar y asesores externos, combinando el conocimiento interno del negocio con aportes técnicos y profesionales especializados. Este esquema de gestión es característico de muchas PYMEs familiares industriales, donde la cercanía de los decisores con los procesos productivos convive con la necesidad de incorporar miradas externas para afrontar entornos cada vez más complejos y competitivos.

En cuanto a sus procesos principales, Nutriterra S.A. presenta una cadena de valor claramente definida, que comienza con la compra y recepción de materias primas, continúa con las actividades de formulación y desarrollo — consideradas como el núcleo del know-how de la empresa— y prosigue con los procesos de producción y mezclado. A estas etapas se suman el control de calidad, la logística y distribución de los productos terminados, y finalmente las actividades comerciales, que incluyen no solo la venta, sino también un seguimiento postventa detallado, orientado a asegurar la correcta aplicación de las soluciones nutricionales y la satisfacción del cliente.

Esta complejidad operativa, sumada a la dispersión geográfica de sus plantas y mercados, convierte a Nutriterra S.A. en un caso de estudio particularmente relevante para analizar el grado de preparación y avance en la incorporación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, especialmente en el contexto de una PYME industrial de carácter familiar y con un fuerte componente de personalización productiva.

3.2 Metodología de análisis del caso

Con el objetivo de analizar el grado de preparación y avance en la incorporación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 en una empresa industrial argentina, se adoptó una metodología basada en el **estudio de caso**, considerando a Nutriterra S.A. como unidad de análisis. Este enfoque resulta particularmente adecuado para investigaciones que buscan comprender en profundidad fenómenos complejos en contextos organizacionales reales, permitiendo integrar aspectos tecnológicos, organizacionales y de gestión.

El diseño metodológico del estudio es de carácter **descriptivo–analítico**, ya que se orienta, por un lado, a describir la situación actual de la empresa en relación con la adopción de principios y tecnologías de la Industria 4.0 y, por otro, a analizar su grado de preparación y nivel de avance, identificando fortalezas, brechas y oportunidades de mejora. Asimismo, el estudio presenta un enfoque **cualitativo predominante**, complementado con información

cuantitativa de carácter descriptivo, vinculada a indicadores operativos, productivos y de gestión.

Para la recolección de información se emplearon **tres técnicas principales**, que permitieron triangular los datos y fortalecer la validez del diagnóstico realizado:

a) Observación directa de procesos

Se llevó a cabo una observación directa de los principales procesos productivos y de gestión de Nutriterra S.A., incluyendo las etapas de compra y recepción de materias primas, formulación y desarrollo, producción y mezclado, control de calidad, logística y distribución, así como los procesos comerciales y de seguimiento postventa. Esta técnica permitió identificar el grado de digitalización de los procesos, la utilización de sistemas informáticos, el nivel de automatización existente y la forma en que se gestionan y registran los datos a lo largo de la cadena de valor.

b) Análisis de documentación interna

Se realizó un análisis de diversa documentación interna de la empresa, tales como registros de producción, planillas de control, reportes de gestión, información proveniente de sistemas informáticos y tableros de control, así como documentación vinculada a procedimientos operativos y administrativos. Este análisis permitió evaluar el nivel de formalización de los procesos, la disponibilidad de información digital, la trazabilidad de los datos y el uso de herramientas de análisis para la toma de decisiones.

c) Entrevistas semiestructuradas

Como complemento central del diagnóstico, se realizaron **entrevistas semiestructuradas** a actores clave de la organización, seleccionados por su rol estratégico y su conocimiento transversal de los procesos. En particular, se entrevistó a:

- el Gerente General de la empresa, con el objetivo de comprender la visión estratégica, el enfoque de la dirección respecto de la transformación digital y las prioridades de inversión en tecnologías asociadas a la Industria 4.0;
- el Gerente Industrial, responsable de los procesos productivos y actualmente involucrado en iniciativas de automatización y mejora tecnológica de la planta, con el fin de relevar el estado actual de la infraestructura productiva, los proyectos en curso y las limitaciones técnicas existentes;
- el responsable del área de Compras, área clave para el abastecimiento de materias primas, la relación con proveedores y la gestión de información crítica para la planificación productiva, especialmente en un contexto de creciente digitalización.

Las entrevistas se estructuraron en torno a ejes temáticos comunes, tales como el uso de tecnologías digitales, la gestión de datos, el nivel de automatización, la integración de sistemas, las capacidades internas y las principales barreras para la adopción de soluciones de Industria 4.0, permitiendo obtener una visión integral y complementaria del estado actual de la empresa.

El período de análisis del estudio se sitúa durante el año **2025**, momento en el cual Nutriterra S.A. se encuentra en una etapa de transición hacia una mayor digitalización y automatización de sus procesos, lo que convierte al caso en particularmente relevante para evaluar el grado de preparación organizacional y tecnológica frente a los desafíos de la Industria 4.0.

Finalmente, la información recopilada fue sistematizada y analizada a partir de distintas **dimensiones de evaluación**, que incluyen la infraestructura tecnológica, el uso y gestión de datos, el nivel de automatización de procesos, la integración de sistemas y los aspectos organizacionales y culturales vinculados a la adopción de nuevas tecnologías. Esta estructura de análisis permitió construir un diagnóstico integral y coherente, alineado con el objetivo específico del presente capítulo.

3.3 Situación actual de Nutriterra S.A. frente a la Industria 4.0

3.3.1 Sistemas de información y grado de digitalización de los procesos

En los últimos años, Nutriterra S.A. ha desarrollado un proceso sostenido de digitalización de sus operaciones, apoyado en la creación y utilización de **sistemas informáticos propios**, diseñados internamente para responder a las particularidades de su modelo productivo y de negocio. Esta estrategia evidencia una orientación clara hacia la gestión basada en datos y constituye uno de los principales avances de la empresa en relación con los principios de la Industria 4.0.

Actualmente, la organización opera con **cuatro sistemas internos diferenciados**, cada uno de ellos orientado a cubrir funciones específicas de la cadena de valor. En primer lugar, la empresa cuenta con un sistema de gestión de producción, que registra de manera integral los movimientos productivos, incluyendo históricos de fabricación, consumos de materias primas, niveles de stock y volúmenes de venta. Este sistema permite no solo la trazabilidad de la producción, sino también la realización de proyecciones y estimaciones vinculadas a consumos futuros, necesidades de abastecimiento y planificación operativa.

En segundo término, Nutriterra dispone de un sistema específico para la **gestión de cotizaciones y ventas**, a través del cual se formalizan las operaciones comerciales. Este sistema se encuentra estrechamente vinculado con la planificación productiva, ya que, a partir del cierre de una venta, se generan estimaciones automáticas sobre las cantidades de materias primas requeridas, los consumos asociados y las necesidades logísticas derivadas. De este modo, la información comercial se transforma en un insumo clave para la toma de decisiones operativas y de abastecimiento.

Como complemento, la empresa utiliza un sistema interno para la **gestión de pedidos de compra**, tanto de materias primas como de repuestos y materiales generales. Este sistema centraliza las solicitudes de compra, facilita el seguimiento de pedidos y contribuye a una mayor coordinación entre

las áreas de producción, compras y administración. La centralización de esta información permite mejorar la visibilidad sobre el estado de los insumos críticos y reducir los riesgos asociados a faltantes o sobrestocks.

Finalmente, Nutriterra S.A. cuenta con un sistema propio destinado al **seguimiento logístico**, que permite monitorear la planificación y ejecución de los viajes, la distribución de productos terminados y la coordinación de la entrega a clientes. Este sistema resulta especialmente relevante considerando la amplia cobertura geográfica de la empresa y la necesidad de optimizar la logística en un contexto de múltiples plantas productivas y mercados regionales dispersos.

A estos desarrollos internos se suman herramientas de uso general, como hojas de cálculo (Excel) y un sistema de gestión administrativo-contable (Tango), utilizados principalmente para tareas transversales y de soporte. No obstante, la empresa se encuentra en un proceso activo de **migración y consolidación de información hacia plataformas de análisis de datos**, con el objetivo de reducir la dispersión de registros y fortalecer la integración de la información.

Un aspecto relevante del sistema interno de gestión de compras de Nutriterra S.A. es la incorporación de **reglas automáticas de decisión** para determinados requerimientos rutinarios. En aquellos casos en los que la compra no se encuentra sujeta a un nivel específico de aprobación jerárquica —por tratarse de insumos recurrentes, proveedores habituales o montos previamente definidos—, el sistema permite que, una vez cargado el requerimiento por el área solicitante, se genere de manera automática el envío de una solicitud de provisión al proveedor previamente registrado en la base de datos. Este proceso se realiza mediante el envío automático de un correo electrónico al proveedor correspondiente, agilizando el circuito de compra y reduciendo tiempos administrativos, sin perder trazabilidad ni control sobre la operación. Este tipo de funcionalidad evidencia un avance hacia la automatización de procesos administrativos y la estandarización de decisiones operativas, alineándose con los principios de eficiencia,

integración y digitalización propios de la Industria 4.0, aun en ausencia de una automatización física completa de los procesos productivos.

En este sentido, un aspecto destacado del estado actual de Nutriterra S.A. es la incorporación progresiva de **Power BI** como herramienta central de visualización y análisis. A través del trabajo de analistas de datos, la información proveniente de los distintos sistemas es procesada y presentada en tableros de control que se actualizan de manera continua y se visualizan en tiempo real en pantallas dentro de la organización. Estos tableros permiten a los distintos niveles de gestión acceder a indicadores clave vinculados a ventas, producción, stocks, consumos de materias primas y planificación logística, favoreciendo una toma de decisiones más ágil y basada en información actualizada.

El funcionamiento integrado de estos sistemas permite, por ejemplo, que el cierre de una operación comercial en el sistema de cotizaciones active automáticamente estimaciones de compras de insumos, proyecciones de consumo de materias primas y previsiones logísticas, evidenciando un nivel de interconexión de datos que, si bien aún no alcanza una integración plena de tipo ciberfísica, representa un avance significativo en términos de digitalización y coordinación de procesos.

En conjunto, este ecosistema de sistemas propios refleja una estrategia deliberada de la empresa orientada a **digitalizar de forma progresiva la totalidad de sus procesos**, reduciendo la dependencia de registros manuales y avanzando hacia una gestión integrada de la información. No obstante, si bien el nivel de digitalización administrativa y de gestión presenta un grado de desarrollo considerable, aún se observan oportunidades de mejora en términos de automatización física de procesos productivos y de integración directa entre los sistemas de información y los equipos de planta, aspectos que serán abordados en los apartados siguientes.

3.3.2 Nivel de automatización de los procesos productivos

En lo que respecta a los procesos productivos, Nutriterra S.A. presenta un **nivel de automatización intermedio**, caracterizado por la combinación de operaciones manuales, sistemas semiautomáticos y etapas plenamente automatizadas. Este esquema híbrido es habitual en PYMEs industriales que se encuentran en un proceso progresivo de incorporación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, donde la automatización se implementa de manera gradual y focalizada en los puntos críticos del proceso.

El proceso de **mezclado de materias primas**, núcleo central de la producción de fertilizantes líquidos, se desarrolla bajo un esquema **semiautomático**. La intervención humana se limita principalmente a la logística inicial de insumos, donde el operario utiliza un autoelevador para posicionar los bolsones de materias primas en el sistema de alimentación. A partir de este punto, el proceso se encuentra automatizado: las materias primas ingresan a través de una cinta transportadora equipada con un sistema de balanza, que regula de manera automática el peso requerido para cada formulación y detiene el flujo una vez alcanzado el valor preestablecido.

Este mecanismo permite asegurar precisión en las dosificaciones, reducir errores humanos y garantizar la repetibilidad de las formulaciones, aspecto crítico en un modelo productivo basado en soluciones nutricionales a medida. Una vez completada la etapa de mezclado, el sistema permite, mediante la activación de comandos digitales, transferir las soluciones obtenidas a través de cañerías especializadas hacia los distintos tanques de almacenamiento. Este traslado interno se realiza sin intervención manual directa, reduciendo riesgos operativos y tiempos de proceso.

La etapa de **carga del producto terminado** hacia los camiones cisterna se encuentra **totalmente automatizada**, siendo controlada por un sistema computarizado que regula volúmenes, tiempos y secuencias de carga. Este nivel de automatización permite una mayor eficiencia logística, mejora la trazabilidad del despacho y minimiza desvíos entre lo producido y lo

entregado, aspectos relevantes desde la perspectiva de control de calidad y cumplimiento comercial.

En relación con el **envasado de fertilizantes foliares**, Nutriterra S.A. dispone de una línea de envasado tipo *bag in box*, que opera bajo un esquema **semiautomático**. El llenado del envase se realiza mediante sistemas automatizados, mientras que las etapas de cerrado de cajas requieren intervención parcial de los operarios. Complementariamente, la empresa cuenta con una **palletizadora automática**, que permite optimizar la preparación de cargas, mejorar la ergonomía del trabajo y reducir los tiempos asociados a la manipulación manual.

Este conjunto de tecnologías evidencia una estrategia de automatización selectiva, orientada a los puntos del proceso donde se generan mayores beneficios en términos de eficiencia, control y seguridad. Sin embargo, la coexistencia de etapas manuales y automatizadas pone de manifiesto que la empresa aún no ha alcanzado un esquema de automatización integral, sino que se encuentra en una fase de transición.

Durante la entrevista realizada al Gerente Industrial, se identificó que la organización se encuentra evaluando **nuevas inversiones estratégicas en automatización**, particularmente en el área de envasado de foliares. En este sentido, se mencionó como objetivo a mediano plazo la incorporación de una **planta de envasado de foliares 100 % automatizada**, que permitiría integrar de forma más profunda los procesos productivos con los sistemas de información existentes. Esta iniciativa se concibe no solo como una mejora operativa, sino también como un paso hacia una mayor digitalización y trazabilidad de la producción.

Asimismo, se destacó la intención de incorporar funcionalidades avanzadas vinculadas a la **logística inteligente**, tales como el uso de registros satelitales y sistemas de geolocalización (GPS), que permitirían enviar notificaciones automáticas a los responsables de las fincas respecto al estado del pedido y el tiempo estimado de arribo. Este tipo de integración entre producción,

logística y comunicación con el cliente se alinea directamente con los principios de la Industria 4.0, particularmente con la noción de sistemas interconectados y orientados al cliente.

En conjunto, el análisis del nivel de automatización productiva de Nutriterra S.A. permite concluir que la empresa ha logrado avances significativos en la automatización de etapas críticas del proceso, especialmente en mezclado, transferencia interna y carga de producto terminado. No obstante, aún persisten oportunidades de mejora vinculadas a la automatización integral del envasado y a la integración directa entre los sistemas de control de planta y los sistemas de información, aspectos que resultan centrales para una adopción más madura de los principios de la Industria 4.0.

3.3.3 Gestión de datos, trazabilidad y avances hacia soluciones IoT

La gestión de datos constituye uno de los pilares centrales de la Industria 4.0 y un elemento clave para evaluar el grado de preparación de las organizaciones frente a este paradigma. En el caso de Nutriterra S.A., se observa un avance significativo en la generación, almacenamiento y utilización de datos a lo largo de los procesos productivos, comerciales y logísticos, aunque con distintos niveles de madurez según la etapa analizada.

En la actualidad, la empresa registra de manera digital información vinculada a la producción, tales como formulaciones, consumos de materias primas, volúmenes producidos, movimientos de stock y despachos. Estos registros, gestionados a través de los sistemas internos desarrollados por la organización, permiten construir históricos productivos y comerciales que sirven como base para la planificación operativa y la toma de decisiones. Asimismo, la integración progresiva de estos datos en plataformas de análisis como Power BI posibilita su visualización en tiempo real mediante tableros de

control, facilitando el seguimiento de indicadores clave por parte de los distintos niveles de gestión.

Desde la perspectiva de la **trazabilidad**, Nutriterra S.A. presenta un esquema parcialmente integrado, que permite vincular información de producción con datos comerciales y logísticos. Si bien la trazabilidad no se encuentra aún completamente automatizada a nivel ciberfísico, la empresa dispone de información suficiente para reconstruir el recorrido de los productos desde la formulación hasta su entrega al cliente, apoyándose en registros digitales y controles internos. Este nivel de trazabilidad resulta especialmente relevante en un modelo productivo basado en soluciones a medida, donde la precisión en las formulaciones y el seguimiento postventa constituyen factores críticos de éxito.

Un aspecto particularmente destacado del estado actual de Nutriterra S.A. es el desarrollo de **soluciones tecnológicas orientadas al Internet de las Cosas (IoT)**, que amplían el alcance de la digitalización más allá de los límites físicos de la planta industrial. En este sentido, la empresa se encuentra desarrollando un **sistema de sensores de nivel** para ser instalado en los tanques de fertilizantes líquidos entregados a los clientes en sus fincas. Estos sensores permitirán monitorear de manera continua el nivel de producto disponible en cada tanque, generando información en tiempo real sobre el consumo efectivo de fertilizantes en cada establecimiento.

La información capturada por estos sensores será integrada en una plataforma digital que permitirá visualizar, a través de una pantalla centralizada, la cantidad de fertilizante disponible para cada cliente, su ubicación geográfica precisa, la finca correspondiente y el estado del suministro. Este sistema contempla además la generación de **alertas automáticas** cuando el nivel de producto alcance un umbral mínimo predefinido, lo que habilitará una planificación anticipada de la producción y la logística, otorgando a la empresa el tiempo necesario para fabricar y entregar el producto antes de que se produzcan interrupciones en el abastecimiento.

Este tipo de desarrollo representa un avance sustancial hacia un modelo de **gestión predictiva y orientada al servicio**, donde los datos provenientes del uso real del producto en el campo se convierten en insumos estratégicos para la toma de decisiones internas. Asimismo, la integración de sensores, geolocalización y sistemas de información corporativos refleja una clara alineación con los principios de la Industria 4.0, particularmente en lo referido a la interconexión de sistemas, la captura de datos en tiempo real y la creación de valor a partir de la información.

No obstante, dado que estas soluciones se encuentran actualmente en fase de desarrollo, su impacto pleno en la gestión operativa y estratégica de la empresa dependerá de su implementación efectiva y de la integración con los sistemas existentes. En este sentido, el caso de Nutriterra S.A. evidencia una transición desde un enfoque predominantemente descriptivo y reactivo hacia un modelo más **proactivo y anticipatorio**, apoyado en el uso intensivo de datos y tecnologías emergentes.

3.4 Análisis del grado de preparación de Nutriterra S.A. para la adopción de la Industria 4.0

El análisis integrado de los sistemas de información, el nivel de automatización productiva, la gestión de datos y los aspectos organizacionales permite evaluar el **grado de preparación de Nutriterra S.A. frente a la adopción de los principios de la Industria 4.0**. En este sentido, resulta fundamental considerar no solo la incorporación de tecnologías, sino también la visión estratégica, la cultura organizacional, las capacidades internas y la forma en que la información es utilizada para la toma de decisiones.

Desde una perspectiva estratégica, la gerencia de la empresa demuestra una **comprensión clara de la necesidad de avanzar hacia una**

transformación digital, asociada en gran medida al proceso de recambio generacional propio de una empresa familiar. La incorporación de nuevas generaciones en los niveles de decisión ha favorecido la adopción de una mirada orientada a la innovación, la mejora continua y la utilización de tecnologías como herramientas para sostener la competitividad en el mediano y largo plazo. Si bien la organización no cuenta con un plan formal de transformación digital estructurado en horizontes temporales específicos, existe un consenso claro respecto de que la diferenciación futura dependerá de la capacidad de integrar progresivamente herramientas tecnológicas en los distintos procesos del negocio.

En cuanto a la política de inversiones, Nutriterra S.A. adopta un enfoque **flexible y pragmático**, combinando inversiones de magnitud significativa con otras de carácter gradual, en función de las necesidades detectadas y de la viabilidad económica de cada iniciativa. Este esquema resulta consistente con la realidad de muchas PYMEs industriales, donde la transformación digital no se aborda a partir de un único proyecto integral, sino mediante una secuencia de mejoras progresivas orientadas a resolver problemáticas concretas. Las prioridades que guían estas decisiones se encuentran claramente alineadas con la estrategia general de la empresa, destacándose el foco en el servicio al cliente, el crecimiento sostenido, la organización y reducción de costos, y la mejora de la eficiencia productiva.

Desde el punto de vista organizacional y cultural, uno de los aspectos más relevantes del diagnóstico es la **alta aceptación de los procesos de automatización y digitalización por parte del personal operativo**. La empresa ha trabajado activamente en comunicar que la incorporación de tecnología no implica la sustitución de los trabajadores, sino la optimización de tareas, la reducción de esfuerzos físicos innecesarios y la mejora de las condiciones de trabajo. Este enfoque, acompañado de instancias de capacitación y adaptación progresiva, ha permitido minimizar resistencias internas y favorecer una cultura organizacional abierta al cambio tecnológico.

Asimismo, se observa una **dinámica de gestión participativa**, en la cual las distintas áreas tienen la posibilidad de proponer mejoras e iniciativas vinculadas a la digitalización. La apertura de la gerencia a escuchar y evaluar propuestas provenientes del área de sistemas, del gerente industrial, del área de compras o de los analistas de datos refuerza la idea de una organización con capacidades internas para sostener procesos de innovación incremental, aspecto clave para una adopción efectiva de la Industria 4.0.

En relación con la integración entre sistemas y procesos productivos, Nutriterra S.A. presenta un **nivel de desarrollo intermedio**, caracterizado por una fuerte sistematización de datos y una integración lógica de la información, aunque aún sin una conexión directa y automática entre las máquinas de planta y los sistemas de gestión. No obstante, la empresa cuenta con registros digitales completos y consolidados, que son procesados y visualizados mediante tableros de control con indicadores clave de desempeño (KPIs). Esta infraestructura permite acceder a información actualizada, en muchos casos en tiempo real, sobre ventas, stocks, producción y logística, habilitando una gestión más ágil y coordinada.

El uso de datos para la toma de decisiones constituye otro indicador central del grado de preparación de la empresa. En este aspecto, Nutriterra S.A. ha avanzado de manera significativa hacia una **gestión basada en información**, donde los datos no reemplazan la experiencia, sino que la complementan. Las decisiones vinculadas a compras, planificación productiva y logística se apoyan cada vez más en el análisis de información histórica y en proyecciones generadas por los sistemas internos. La existencia de procesos de compra automatizados, decisiones de abastecimiento basadas en consumos reales y planificación logística apoyada en datos evidencia un alejamiento progresivo de esquemas puramente intuitivos y reactivos.

En el área comercial, el uso de bases de datos externas para identificar oportunidades vinculadas a determinados cultivos y zonas productivas refuerza esta orientación hacia una gestión informada, integrando fuentes de datos externas al ecosistema interno de la empresa. Al mismo tiempo, el

desarrollo de soluciones orientadas al cliente, como el sistema de sensores IoT para el monitoreo de niveles de fertilizantes en finca, amplía el alcance de la digitalización hacia un modelo de servicio más avanzado, donde la información generada en el uso del producto se transforma en un insumo estratégico tanto para la empresa como para sus clientes.

No obstante estos avances, el diagnóstico también permite identificar **limitaciones y brechas** que condicionan una adopción plena de los principios de la Industria 4.0. Entre ellas se destacan la ausencia de una automatización integral de ciertos procesos productivos, la falta de integración directa entre equipos de planta y sistemas de información, y la inexistencia de un plan formal y estructurado de transformación digital. Estas limitaciones no responden necesariamente a una resistencia cultural, sino más bien a decisiones estratégicas vinculadas a la priorización de inversiones, la complejidad técnica y la necesidad de avanzar de manera progresiva.

A partir del análisis realizado, puede afirmarse que Nutriterra S.A. se encuentra **en una etapa de transición hacia la Industria 4.0**, con un nivel de preparación superior al promedio de las PYMEs industriales argentinas. La empresa presenta fortalezas claras en términos de digitalización de la gestión, uso de datos para la toma de decisiones, automatización selectiva de procesos y apertura organizacional al cambio tecnológico. Al mismo tiempo, enfrenta el desafío de profundizar la integración tecnológica, avanzar hacia esquemas más automatizados y consolidar una estrategia de transformación digital de largo plazo.

En síntesis, Nutriterra S.A. dispone de las **condiciones organizacionales, tecnológicas y culturales necesarias** para avanzar en la adopción de la Industria 4.0, encontrándose en una fase intermedia que combina desarrollos consolidados con proyectos en curso y oportunidades de mejora. Este diagnóstico constituye la base para la identificación de las condiciones clave que facilitan una implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares, aspecto que será abordado en el capítulo siguiente.

El presente capítulo permitió analizar el grado de preparación y avance de Nutriterra S.A. en la incorporación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, a partir de un diagnóstico integral que consideró aspectos tecnológicos, organizacionales y de gestión. Los resultados obtenidos evidencian que la empresa se encuentra en un proceso de transición hacia un modelo productivo más digitalizado, con avances concretos en la gestión de datos, la automatización de procesos y el desarrollo de soluciones innovadoras orientadas al cliente, aunque aún con desafíos pendientes para alcanzar una adopción más madura de los principios de la Industria 4.0.

Capítulo 4: Condiciones clave para una implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares

4.1 Introducción del capítulo

La adopción de los principios y tecnologías asociados a la Industria 4.0 representa uno de los principales desafíos estratégicos para las pequeñas y medianas empresas industriales en la actualidad. Si bien el avance tecnológico ofrece oportunidades significativas en términos de eficiencia productiva, mejora en la toma de decisiones y generación de valor, su implementación efectiva no depende exclusivamente de la disponibilidad de tecnologías, sino de un conjunto de **condiciones organizacionales, tecnológicas y de gestión** que actúan como habilitantes del proceso de transformación. Estas condiciones adquieren especial relevancia en contextos como el argentino, donde las restricciones económicas y estructurales condicionan los procesos de innovación tecnológica

Tal como se evidenció en el Capítulo 3, el caso de Nutriterra S.A. muestra que la incorporación de herramientas digitales, sistemas de información, automatización selectiva e incluso desarrollos incipientes de Internet de las Cosas no constituye un proceso lineal ni inmediato, sino una transición progresiva que involucra múltiples dimensiones de la organización. En este sentido, la experiencia de la empresa pone de manifiesto que la Industria 4.0 no puede ser abordada como un proyecto tecnológico aislado, sino como un proceso integral de cambio que atraviesa la estrategia, la cultura organizacional, los procesos productivos y la forma en que se toman las decisiones.

Las PYMEs industriales argentinas, y en particular aquellas de carácter familiar, enfrentan condiciones estructurales específicas que influyen de manera directa en su capacidad para adoptar este nuevo paradigma industrial. Entre ellas se destacan la disponibilidad limitada de recursos financieros, la concentración de la toma de decisiones en pocos actores, la coexistencia de

lógicas tradicionales con nuevas generaciones de gestión, y la necesidad de compatibilizar la continuidad del negocio con procesos de innovación que implican riesgos e incertidumbre. Estas características hacen que la implementación de la Industria 4.0 requiera condiciones particulares que difieren de aquellas presentes en grandes organizaciones o corporaciones multinacionales.

En este contexto, el presente capítulo tiene como objetivo **identificar las condiciones clave para una implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares**, tomando como referencia los aportes teóricos desarrollados en el marco conceptual y el análisis empírico realizado a partir del estudio de caso de Nutriterra S.A. La identificación de estas condiciones no persigue la formulación de un modelo rígido o universal, sino la construcción de un marco analítico que permita comprender qué factores resultan determinantes para facilitar —o limitar— los procesos de transformación digital en este tipo de organizaciones.

Para ello, el capítulo se estructura en torno a un conjunto de dimensiones que agrupan las principales condiciones habilitantes de la Industria 4.0 en PYMEs familiares. En primer lugar, se desarrollan las bases conceptuales que permiten comprender la noción de “condiciones habilitantes” y su relevancia en los procesos de cambio tecnológico. Posteriormente, se analizan de manera específica las condiciones organizacionales, tecnológicas y económicas que influyen en la adopción de la Industria 4.0, integrando ejemplos y aprendizajes derivados del caso Nutriterra S.A. Finalmente, se presenta una síntesis que permite sistematizar las condiciones identificadas y establecer su relación con la competitividad y sostenibilidad de las PYMEs industriales en el contexto actual.

De este modo, el capítulo busca aportar una mirada aplicada y contextualizada sobre la Industria 4.0, orientada a comprender no solo **qué tecnologías implementar**, sino fundamentalmente **en qué condiciones organizacionales y estratégicas dicha implementación resulta viable y efectiva** para las PYMEs familiares.

4.2 Marco conceptual: condiciones habilitantes para la Industria 4.0 en PYMEs familiares

La Industria 4.0 se caracteriza por la integración de tecnologías digitales avanzadas en los procesos productivos, dando lugar a sistemas interconectados, automatizados y orientados al uso intensivo de datos. Sin embargo, la literatura especializada coincide en que la simple adopción de tecnologías no garantiza por sí misma mejoras en el desempeño organizacional. Por el contrario, numerosos estudios señalan que el éxito de la Industria 4.0 depende de la existencia de un conjunto de **condiciones habilitantes** que permitan a las organizaciones absorber, integrar y aprovechar de manera efectiva dichas tecnologías.

El concepto de condiciones habilitantes refiere a aquellos factores internos y externos que facilitan la implementación de procesos de cambio tecnológico y organizacional. En el ámbito de la Industria 4.0, estas condiciones incluyen aspectos estratégicos, culturales, organizacionales, tecnológicos y económicos, que actúan de manera interdependiente. La ausencia o debilidad de alguna de estas dimensiones puede limitar el impacto de las inversiones tecnológicas, generando implementaciones parciales, fragmentadas o de bajo retorno.

En el caso de las PYMEs industriales, la identificación de estas condiciones adquiere particular relevancia, ya que dichas organizaciones operan bajo restricciones estructurales que difieren significativamente de las grandes empresas. A diferencia de estas últimas, las PYMEs suelen contar con recursos financieros más acotados, estructuras organizacionales menos formalizadas y una menor disponibilidad de personal especializado en tecnologías digitales. No obstante, también presentan ventajas comparativas, como una mayor flexibilidad, cercanía entre los decisores y los procesos productivos, y una capacidad más ágil para implementar cambios incrementales.

Cuando se trata de **PYMEs familiares**, estas características se profundizan y adquieren matices específicos. La empresa familiar se define no solo por su tamaño, sino por la superposición entre la propiedad, la gestión y la familia, lo que influye de manera directa en la toma de decisiones, la visión estratégica y la gestión del riesgo. En este tipo de organizaciones, los procesos de innovación y transformación digital se encuentran fuertemente condicionados por factores como el recambio generacional, la preservación del legado familiar y la búsqueda de continuidad a largo plazo.

Desde una perspectiva conceptual, las condiciones habilitantes para la Industria 4.0 en PYMEs familiares pueden agruparse en cuatro grandes dimensiones. En primer lugar, las **condiciones estratégicas y de liderazgo**, que incluyen la visión de la alta dirección, el compromiso con la transformación digital y la capacidad de orientar las inversiones tecnológicas hacia objetivos claros. En segundo término, las **condiciones organizacionales y culturales**, vinculadas a la aceptación del cambio, la participación del personal, la capacitación y la existencia de una cultura orientada a la mejora continua. En tercer lugar, las **condiciones tecnológicas**, que abarcan el grado de digitalización previo, la integración de sistemas, la disponibilidad de datos y la infraestructura necesaria para avanzar hacia esquemas más automatizados e interconectados. Finalmente, se identifican las **condiciones económicas y de gestión**, relacionadas con la disponibilidad de recursos, la priorización de inversiones, la evaluación de riesgos y la búsqueda de retornos sostenibles en el tiempo.

Un aspecto central en la literatura sobre Industria 4.0 en PYMEs es la noción de **gradualidad**. A diferencia de los grandes proyectos de transformación implementados por corporaciones de gran escala, las PYMEs tienden a avanzar mediante procesos incrementales, donde cada mejora tecnológica se apoya en desarrollos previos. En este sentido, la Industria 4.0 no se presenta como un punto de llegada inmediato, sino como un camino evolutivo que requiere planificación, aprendizaje organizacional y adaptación constante.

Asimismo, diversos autores destacan que uno de los principales errores en la adopción de la Industria 4.0 consiste en abordar el proceso desde una lógica puramente tecnológica, sin considerar las capacidades organizacionales existentes. La adquisición de equipamiento automatizado, sistemas avanzados o soluciones de análisis de datos, sin una adecuada preparación interna, puede derivar en subutilización de recursos, resistencias internas o incluso en fracasos de implementación. Por ello, la identificación de condiciones habilitantes resulta un paso previo e indispensable para cualquier estrategia de transformación digital en PYMEs industriales.

En el contexto latinoamericano, y particularmente en la Argentina, estas consideraciones adquieren una relevancia adicional debido a la inestabilidad macroeconómica, las dificultades de acceso al financiamiento y la heterogeneidad del entramado productivo. En este escenario, las PYMEs familiares que logran avanzar en la adopción de la Industria 4.0 suelen hacerlo a partir de una combinación de visión estratégica, aprovechamiento de capacidades internas y adaptación creativa de tecnologías a su realidad operativa, más que mediante la simple replicación de modelos desarrollados en economías centrales.

A partir de estas consideraciones teóricas, el presente capítulo se propone analizar en profundidad las condiciones que permiten a una PYME familiar industrial transitar de manera efectiva hacia la Industria 4.0, integrando los aportes conceptuales con la evidencia empírica obtenida del caso Nutriterra S.A. Esta articulación entre teoría y práctica permitirá identificar no solo factores críticos de éxito, sino también límites, tensiones y aprendizajes relevantes para otras organizaciones de características similares.

4.3 Condiciones organizacionales y culturales para la implementación de la Industria 4.0 en PYMEs familiares

Dentro del conjunto de condiciones habilitantes para la adopción de la Industria 4.0, las **condiciones organizacionales y culturales** ocupan un lugar central, especialmente en el contexto de las PYMEs familiares. La

literatura especializada coincide en que los procesos de transformación digital no fracasan, en la mayoría de los casos, por limitaciones tecnológicas, sino por la incapacidad de las organizaciones para gestionar el cambio interno que dichas tecnologías implican.

En las PYMEs familiares, la estructura organizacional suele caracterizarse por una fuerte centralización de la toma de decisiones, una alta proximidad entre la dirección y los procesos operativos, y una cultura empresarial construida a lo largo del tiempo en torno a valores compartidos, prácticas consolidadas y relaciones de confianza. Estas características pueden constituir tanto una fortaleza como una limitación frente a los procesos de innovación tecnológica, dependiendo de cómo sean gestionadas.

Una de las condiciones organizacionales más relevantes para la implementación efectiva de la Industria 4.0 es la **existencia de liderazgo comprometido con el cambio**. En este sentido, el rol de la alta dirección resulta determinante, ya que es la encargada de definir prioridades, asignar recursos y legitimar los procesos de transformación dentro de la organización. En las empresas familiares, este liderazgo suele estar directamente vinculado a los miembros de la familia propietaria, lo que refuerza la importancia de su visión estratégica y su predisposición a incorporar nuevas formas de gestión.

El caso de Nutriterra S.A. evidencia cómo el **recambio generacional** puede actuar como un factor dinamizador de la transformación digital. La incorporación de nuevas generaciones en los espacios de decisión ha favorecido una mayor apertura hacia la adopción de tecnologías digitales, la utilización de datos para la toma de decisiones y la búsqueda de mejoras continuas en los procesos. Este fenómeno resulta consistente con lo señalado por diversos autores, quienes destacan que las nuevas generaciones tienden a presentar una mayor familiaridad con herramientas digitales y una visión más orientada al largo plazo en términos de competitividad.

No obstante, el liderazgo en la Industria 4.0 no se limita a la definición de una visión estratégica, sino que también implica la capacidad de **gestionar las**

percepciones y expectativas del personal. En este sentido, uno de los principales desafíos organizacionales asociados a la automatización y digitalización de procesos es el temor de los trabajadores a ser reemplazados por la tecnología. En las PYMEs familiares, donde las relaciones laborales suelen ser más cercanas y estables, este tipo de temores puede generar resistencias significativas si no se abordan de manera adecuada.

En Nutriterra S.A., la experiencia muestra que la aceptación de los procesos de automatización por parte de los operarios estuvo fuertemente condicionada por la **comunicación interna y la capacitación.** La gerencia adoptó un enfoque explícito orientado a presentar la tecnología como una herramienta para mejorar las condiciones de trabajo y reducir tareas repetitivas o físicamente exigentes, en lugar de una amenaza para la estabilidad laboral. Este tipo de abordaje resulta clave para construir una cultura organizacional favorable al cambio y reducir las resistencias internas.

La **capacitación del personal** constituye otra condición organizacional crítica para la adopción de la Industria 4.0. La incorporación de sistemas informáticos, automatización y análisis de datos requiere el desarrollo de nuevas competencias, tanto en niveles operativos como en niveles de supervisión y gestión. En el contexto de las PYMEs, donde los recursos destinados a formación suelen ser limitados, la capacitación adopta con frecuencia un carácter práctico y progresivo, basado en el aprendizaje en el puesto de trabajo y en la adaptación gradual a nuevas herramientas.

En este sentido, el proceso observado en Nutriterra S.A. se caracteriza por una combinación de instancias formales de capacitación y procesos informales de aprendizaje, donde los operarios y mandos medios incorporan nuevas prácticas a medida que se introducen tecnologías y sistemas. Este enfoque incremental resulta coherente con la lógica de gradualidad propia de las PYMEs y contribuye a reducir la brecha entre la incorporación tecnológica y la capacidad real de utilización de las herramientas disponibles.

Otro aspecto relevante de las condiciones organizacionales es la **participación transversal de las distintas áreas** en los procesos de transformación digital. A diferencia de enfoques centralizados, donde la innovación tecnológica se concentra exclusivamente en el área de sistemas o en consultores externos, las experiencias más exitosas de Industria 4.0 en PYMEs suelen apoyarse en la interacción entre áreas productivas, administrativas y comerciales. Esta participación transversal permite identificar necesidades reales, priorizar inversiones y adaptar las soluciones tecnológicas a los procesos existentes.

El caso de Nutriterra S.A. muestra una dinámica organizacional en la cual las iniciativas vinculadas a la digitalización y automatización surgen tanto desde el área de sistemas como desde la gerencia industrial, el área de compras y los analistas de datos. La apertura de la gerencia a escuchar, evaluar y eventualmente implementar propuestas provenientes de distintas áreas constituye una condición organizacional clave, ya que favorece la apropiación interna de las tecnologías y reduce la dependencia de soluciones externas estandarizadas.

Asimismo, la **cultura organizacional orientada a la mejora continua** aparece como un elemento central para sostener procesos de transformación digital en el tiempo. La Industria 4.0 no se limita a la implementación de un conjunto cerrado de tecnologías, sino que implica un proceso permanente de ajuste, aprendizaje y adaptación. En este sentido, las organizaciones que conciben la digitalización como un proceso dinámico, sujeto a revisiones y mejoras constantes, se encuentran mejor preparadas para enfrentar los cambios tecnológicos y del entorno competitivo.

En las PYMEs familiares, esta cultura de mejora continua suele estar vinculada a la historia de la empresa y a su capacidad para adaptarse a contextos cambiantes. En Nutriterra S.A., la evolución desde una estructura productiva más tradicional hacia un modelo crecientemente digitalizado refleja una trayectoria de aprendizaje organizacional, donde cada avance

tecnológico se apoya en experiencias previas y en el conocimiento acumulado de la organización.

No obstante, también es necesario reconocer que las condiciones organizacionales pueden actuar como **limitantes** si no se gestionan adecuadamente. La centralización excesiva de decisiones, la falta de formalización de procesos o la dependencia de personas clave pueden dificultar la escalabilidad de las soluciones tecnológicas y limitar su impacto. Por ello, uno de los desafíos para las PYMEs familiares en transición hacia la Industria 4.0 consiste en encontrar un equilibrio entre la flexibilidad propia de su estructura y la necesidad de formalizar ciertos procesos para sostener la transformación digital.

En síntesis, el análisis de las condiciones organizacionales y culturales pone de manifiesto que la implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares requiere mucho más que la incorporación de tecnologías. Resulta indispensable contar con liderazgo comprometido, una cultura organizacional abierta al cambio, mecanismos de capacitación adecuados y una participación transversal de las distintas áreas de la empresa. Estas condiciones, cuando se encuentran presentes, actúan como facilitadores del proceso de transformación digital y permiten maximizar el impacto de las inversiones tecnológicas realizadas. Estas condiciones no garantizan por sí mismas el éxito del proceso, pero constituyen un marco organizacional sin el cual la adopción de tecnologías 4.0 resulta difícilmente sostenible.

4.4 Condiciones tecnológicas para la implementación de la Industria 4.0 en PYMEs familiares

Las **condiciones tecnológicas** constituyen una dimensión central en la adopción de la Industria 4.0, ya que determinan la capacidad de las organizaciones para integrar, procesar y utilizar información de manera eficiente a lo largo de sus procesos productivos y de gestión. No obstante, en el contexto de las PYMEs familiares, estas condiciones no deben ser analizadas únicamente desde la disponibilidad de equipamiento o software,

sino también desde la coherencia entre la infraestructura tecnológica, los procesos existentes y los objetivos estratégicos de la empresa.

Uno de los primeros requisitos tecnológicos para avanzar hacia la Industria 4.0 es la **digitalización previa de los procesos**. La literatura coincide en que no es posible implementar soluciones avanzadas de automatización, análisis de datos o Internet de las Cosas en organizaciones donde los procesos aún se gestionan de manera predominantemente manual o basada en registros no sistematizados. En este sentido, la digitalización constituye una condición necesaria, aunque no suficiente, para la transformación digital.

El caso de Nutriterra S.A. muestra cómo la digitalización de la gestión productiva, comercial, logística y de compras permite sentar las bases para desarrollos tecnológicos más avanzados. La existencia de sistemas propios que registran y consolidan información de manera estructurada facilita la generación de históricos, la trazabilidad de operaciones y la posterior explotación de datos mediante herramientas de análisis. Esta infraestructura tecnológica previa resulta fundamental para evitar uno de los errores más frecuentes en la adopción de la Industria 4.0 en PYMEs: la incorporación de tecnologías avanzadas sin una base de datos confiable que las sustente.

Otra condición tecnológica clave es la **integración de sistemas de información**. En muchas PYMEs industriales, los procesos se gestionan mediante aplicaciones aisladas que no se comunican entre sí, lo que genera duplicación de tareas, inconsistencias en los datos y dificultades para obtener una visión integral del negocio. La Industria 4.0, por el contrario, se basa en la interconexión de sistemas y en la circulación fluida de la información a lo largo de la cadena de valor.

En Nutriterra S.A., si bien aún no se ha alcanzado una integración total de tipo ciberfísico, se observa un avance significativo en la integración lógica de los sistemas, donde la información generada en el área comercial impacta en la planificación productiva, las compras y la logística. Esta interconexión de datos permite mejorar la coordinación entre áreas y habilita la toma de

decisiones en tiempo real o cuasi real, aspectos centrales del paradigma 4.0. En este sentido, la integración progresiva de sistemas puede ser interpretada como una condición tecnológica en proceso de consolidación, más que como un estado plenamente alcanzado.

La **automatización progresiva de los procesos productivos** constituye otra condición tecnológica relevante para la Industria 4.0. A diferencia de los enfoques tradicionales, donde la automatización se implementaba de manera integral y mediante grandes inversiones, las PYMEs familiares suelen avanzar a través de esquemas híbridos, combinando etapas manuales, semiautomáticas y automáticas. Esta lógica de automatización selectiva permite focalizar recursos en los puntos críticos del proceso, maximizando el retorno de la inversión y reduciendo los riesgos asociados a cambios abruptos.

El análisis del caso Nutriterra S.A. evidencia cómo la automatización del mezclado, la transferencia interna de soluciones y la carga de producto terminado permiten mejorar la eficiencia y el control del proceso productivo, aun cuando otras etapas, como el envasado, se encuentren en transición hacia mayores niveles de automatización. Este enfoque gradual resulta coherente con las capacidades financieras y organizacionales de una PYME familiar y refuerza la idea de que la Industria 4.0 puede ser abordada como un proceso evolutivo.

Un elemento tecnológico distintivo del paradigma 4.0 es el **uso intensivo de datos y su transformación en información útil para la toma de decisiones**. La disponibilidad de datos por sí sola no genera valor si no se cuenta con herramientas y capacidades para analizarlos e interpretarlos. En este sentido, la incorporación de plataformas de visualización y análisis, como los tableros de control y los sistemas de indicadores clave de desempeño (KPIs), constituye una condición tecnológica fundamental.

En Nutriterra S.A., el uso de Power BI como herramienta de consolidación y visualización de información permite integrar datos provenientes de distintos

sistemas y presentarlos de manera accesible para los niveles de gestión. Esta capacidad de análisis contribuye a una gestión más proactiva, donde las decisiones se apoyan en información actualizada sobre ventas, stocks, producción y logística. La utilización de datos en tiempo real o casi real refuerza la capacidad de respuesta de la organización y reduce la dependencia de decisiones basadas exclusivamente en la experiencia o la intuición.

Asimismo, el avance hacia soluciones basadas en **Internet de las Cosas (IoT)** representa una condición tecnológica emergente para la Industria 4.0. La posibilidad de capturar datos directamente desde el uso del producto en el campo, como en el caso de los sensores de nivel desarrollados por Nutriterra S.A., amplía el alcance de la digitalización más allá de la planta industrial y permite integrar información proveniente del cliente al sistema de gestión. Este tipo de desarrollos habilita modelos de gestión predictiva, mejora la planificación productiva y fortalece la relación con el cliente, aunque su implementación efectiva requiere superar desafíos técnicos y organizacionales.

No obstante, la adopción de tecnologías avanzadas también plantea nuevos **desafíos tecnológicos**, entre los que se destacan la necesidad de garantizar la calidad de los datos, la seguridad de la información y la confiabilidad de los sistemas. En las PYMEs familiares, donde la infraestructura tecnológica suele crecer de manera incremental, resulta especialmente importante evitar la proliferación de soluciones no integradas o dependientes de personas clave, ya que ello puede comprometer la sostenibilidad de la transformación digital en el largo plazo.

En este sentido, una condición tecnológica frecuentemente subestimada es la **capacidad de gestión tecnológica**, entendida no solo como la disponibilidad de hardware y software, sino como la habilidad de la organización para mantener, actualizar y adaptar sus sistemas en función de nuevas necesidades. La existencia de equipos internos con conocimiento del negocio y de las tecnologías utilizadas, como se observa en Nutriterra S.A.,

constituye una ventaja significativa frente a modelos de adopción basados exclusivamente en soluciones externas estandarizadas.

En síntesis, las condiciones tecnológicas para la implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares incluyen la digitalización previa de procesos, la integración progresiva de sistemas, la automatización selectiva de etapas productivas, el uso estratégico de datos y el desarrollo de capacidades internas para gestionar la tecnología. Estas condiciones, cuando se articulan de manera coherente con la estrategia y la cultura organizacional, permiten avanzar hacia modelos productivos más eficientes, flexibles y orientados al cliente, aun en contextos de recursos limitados e incertidumbre económica.

4.5 Condiciones económicas y de gestión de inversiones para la adopción de la Industria 4.0 en PYMEs familiares

La dimensión económica constituye uno de los factores más determinantes — y a la vez más restrictivos— para la adopción de la Industria 4.0 en las PYMEs industriales. A diferencia de las grandes empresas, que suelen contar con mayor acceso a financiamiento, economías de escala y estructuras formales de planificación de inversiones, las PYMEs familiares deben gestionar sus procesos de transformación digital en contextos de **recursos limitados, alta incertidumbre y necesidad de preservar la continuidad del negocio**.

En este marco, la implementación efectiva de la Industria 4.0 no depende exclusivamente del volumen de inversión disponible, sino de la **forma en que se gestionan, priorizan y secuencian las inversiones tecnológicas**. La literatura especializada destaca que uno de los principales errores en los procesos de transformación digital en PYMEs consiste en adoptar tecnologías sin una evaluación previa de su impacto económico, lo que puede derivar en inversiones sobredimensionadas, retornos inciertos o incluso en la subutilización de los recursos incorporados.

En el caso de las PYMEs familiares, la gestión de inversiones se encuentra estrechamente vinculada a la lógica de preservación patrimonial y a una visión

de largo plazo orientada a la continuidad intergeneracional. Esta característica condiciona la forma en que se asume el riesgo y explica por qué muchas empresas familiares optan por esquemas de inversión **graduales y progresivos**, en lugar de grandes proyectos de transformación integral. Desde esta perspectiva, la gradualidad no debe interpretarse como una limitación, sino como una estrategia racional de adaptación a contextos económicos volátiles.

El análisis del caso Nutriterra S.A. evidencia claramente esta lógica de gestión económica. La empresa no cuenta con un plan formal de inversiones tecnológicas desagregado en proyectos específicos de Industria 4.0, sino que adopta un enfoque flexible, donde las inversiones se realizan en función de necesidades concretas que surgen de la operación y la estrategia. Este modelo permite evaluar cada iniciativa de manera individual, considerando su impacto en la eficiencia productiva, el servicio al cliente y la organización interna, antes de comprometer recursos significativos.

Uno de los criterios centrales en la gestión de inversiones tecnológicas en PYMEs familiares es la **priorización en función del valor generado**. En este sentido, las inversiones que contribuyen directamente a mejorar el servicio al cliente, optimizar procesos críticos o reducir costos operativos tienden a ser priorizadas frente a aquellas cuyo retorno resulta más incierto o de largo plazo. En Nutriterra S.A., este enfoque se refleja en la elección de proyectos vinculados a la digitalización de la gestión, la automatización de procesos clave y el desarrollo de soluciones orientadas al cliente, como los sistemas de monitoreo y trazabilidad.

Asimismo, la evaluación económica de las inversiones en Industria 4.0 en PYMEs familiares suele adoptar un enfoque más **cualitativo que cuantitativo**, especialmente en contextos donde resulta difícil estimar con precisión el retorno de la inversión (ROI). Si bien los indicadores financieros tradicionales continúan siendo relevantes, muchas decisiones se apoyan también en beneficios indirectos, como la reducción de errores, la mejora en la toma de decisiones, el ordenamiento de la información o el fortalecimiento

de la relación con clientes y proveedores. Estos beneficios, aunque menos tangibles en el corto plazo, contribuyen a la sostenibilidad y competitividad de la empresa en el mediano y largo plazo.

Otro aspecto económico relevante es la **gestión del riesgo asociado a la adopción tecnológica**. En las PYMEs familiares, el riesgo no se evalúa únicamente en términos financieros, sino también en función de su impacto potencial sobre la operación cotidiana y la estabilidad del negocio. Por este motivo, las inversiones tecnológicas suelen implementarse de manera incremental, permitiendo realizar ajustes, corregir desvíos y aprender de la experiencia antes de avanzar hacia etapas más complejas de automatización o integración.

La disponibilidad y el acceso al financiamiento constituyen una condición adicional que influye en la capacidad de las PYMEs para avanzar hacia la Industria 4.0. En el contexto argentino, caracterizado por restricciones crediticias y volatilidad macroeconómica, muchas empresas optan por financiar sus inversiones tecnológicas con recursos propios, lo que refuerza la necesidad de priorizar proyectos con retornos claros y controlables. En este escenario, la capacidad de **aprovechar desarrollos internos**, como sistemas propios o soluciones adaptadas a la realidad de la empresa, aparece como una ventaja competitiva frente a la adquisición de tecnologías estandarizadas de alto costo.

Desde una perspectiva de gestión, la Industria 4.0 también plantea el desafío de **coordinar inversiones tecnológicas con cambios organizacionales y de procesos**. La incorporación de tecnología sin una adecuación simultánea de los procesos puede generar ineficiencias, duplicaciones o resistencias internas que reduzcan el impacto económico esperado. Por ello, una condición clave para la implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares es la alineación entre las decisiones de inversión, la estrategia organizacional y las capacidades internas de la empresa.

En el caso de Nutriterra S.A., esta alineación se manifiesta en la articulación entre las inversiones tecnológicas y los objetivos estratégicos de la organización, tales como la mejora del servicio al cliente, la optimización de la logística, el control de costos y la eficiencia productiva. La combinación de inversiones de distinta magnitud —algunas de carácter incremental y otras de mayor escala— permite avanzar de manera sostenida hacia un modelo productivo más digitalizado, sin comprometer la estabilidad financiera de la empresa.

En síntesis, las condiciones económicas y de gestión de inversiones representan un factor crítico para la adopción de la Industria 4.0 en PYMEs familiares. La implementación efectiva de este paradigma requiere una gestión prudente de los recursos, una priorización clara de proyectos, una evaluación integral de riesgos y beneficios, y una visión de largo plazo orientada a la sostenibilidad del negocio. Estas condiciones, cuando se gestionan de manera coherente, permiten transformar las restricciones económicas en oportunidades para desarrollar estrategias de transformación digital adaptadas a la realidad de las PYMEs industriales.

4.6 Síntesis y modelo de condiciones clave para la implementación de la Industria 4.0 en PYMEs familiares

El análisis desarrollado a lo largo del presente capítulo permitió identificar un conjunto de **condiciones clave** que resultan determinantes para una implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares industriales. A partir de la articulación entre los aportes teóricos y la evidencia empírica obtenida del estudio de caso de Nutriterra S.A., se pone de manifiesto que la adopción de este nuevo paradigma industrial no puede ser comprendida como un proceso exclusivamente tecnológico, sino como una transformación integral que involucra múltiples dimensiones de la organización.

En primer lugar, las **condiciones estratégicas y de liderazgo** emergen como un factor transversal a todo el proceso de transformación digital. La existencia de una visión compartida respecto de la necesidad de innovar, el

compromiso de la alta dirección y la voluntad de sostener procesos de cambio en el tiempo constituyen elementos fundamentales para habilitar la adopción de tecnologías 4.0. En el caso de las PYMEs familiares, esta dimensión adquiere particular relevancia debido a la centralización de la toma de decisiones y al peso que tiene la visión de la familia propietaria en la orientación estratégica de la empresa. El recambio generacional, cuando se gestiona de manera adecuada, puede actuar como un catalizador de la transformación digital, aportando nuevas perspectivas y una mayor apertura hacia el uso de tecnologías.

En segundo término, las **condiciones organizacionales y culturales** se presentan como uno de los principales determinantes del éxito o fracaso de los procesos de implementación. La aceptación del cambio por parte del personal, la comunicación interna, la capacitación y la participación transversal de las distintas áreas de la empresa resultan esenciales para evitar resistencias y lograr una apropiación efectiva de las tecnologías incorporadas. La experiencia de Nutriterra S.A. muestra que una cultura organizacional orientada a la mejora continua y al aprendizaje incremental facilita la adopción progresiva de soluciones digitales y automatizadas, incluso en contextos de recursos limitados.

Las **condiciones tecnológicas** constituyen la tercera dimensión central del modelo propuesto. La digitalización previa de los procesos, la integración progresiva de sistemas de información, la automatización selectiva de etapas productivas y el uso estratégico de datos aparecen como requisitos indispensables para avanzar hacia esquemas más avanzados de Industria 4.0. En este sentido, el análisis evidencia que no resulta necesario alcanzar de manera inmediata una automatización integral o una integración ciberfísica completa para comenzar el proceso de transformación, sino que es posible avanzar mediante desarrollos graduales que se apoyen en capacidades existentes y en soluciones adaptadas a la realidad de la empresa.

Asimismo, el desarrollo de **capacidades internas de gestión tecnológica** se identifica como una condición clave para la sostenibilidad del proceso. Las

PYMEs familiares que logran internalizar conocimiento sobre sus sistemas y tecnologías, y que evitan una dependencia excesiva de soluciones externas estandarizadas, se encuentran en una mejor posición para adaptar las herramientas digitales a sus procesos específicos y para evolucionar de manera autónoma en el tiempo. En este marco, el uso de datos para la toma de decisiones y el avance hacia soluciones basadas en Internet de las Cosas representan pasos significativos hacia modelos productivos más integrados, predictivos y orientados al cliente.

La **dimensión económica y de gestión de inversiones** completa el conjunto de condiciones habilitantes identificadas. En el contexto de las PYMEs familiares, la adopción de la Industria 4.0 requiere una gestión prudente de los recursos financieros, una priorización clara de proyectos y una evaluación integral de los riesgos y beneficios asociados a cada iniciativa tecnológica. La gradualidad en las inversiones, lejos de constituir una debilidad, aparece como una estrategia racional que permite minimizar riesgos, aprender de la experiencia y maximizar el retorno de las inversiones realizadas. En este sentido, la alineación entre las decisiones de inversión, los objetivos estratégicos y las capacidades organizacionales resulta fundamental para garantizar la viabilidad económica de la transformación digital.

A partir de estas consideraciones, es posible proponer un **modelo conceptual de condiciones clave para la implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares**, estructurado en cuatro dimensiones interrelacionadas:

1. condiciones estratégicas y de liderazgo;
2. condiciones organizacionales y culturales;
3. condiciones tecnológicas;
4. condiciones económicas y de gestión de inversiones.

Este modelo no debe ser interpretado como una secuencia rígida de etapas, sino como un marco analítico flexible que permite comprender cómo estas dimensiones interactúan entre sí y se refuerzan mutuamente. La ausencia o

debilidad de alguna de ellas puede limitar el impacto de las demás, mientras que su articulación coherente potencia las posibilidades de éxito del proceso de transformación digital.

En síntesis, la Industria 4.0 en PYMEs familiares no constituye un destino predeterminado ni un conjunto cerrado de tecnologías a incorporar, sino un **proceso dinámico de adaptación, aprendizaje e innovación**, condicionado por la realidad organizacional, económica y cultural de cada empresa. El caso de Nutriterra S.A. evidencia que, aun sin contar con una automatización plena o con un plan formal de transformación digital, es posible avanzar de manera sostenida hacia modelos productivos más eficientes, integrados y orientados al cliente, siempre que se cuente con las condiciones habilitantes adecuadas.

Las conclusiones de este capítulo permiten afirmar que la implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares argentinas depende menos de la adopción inmediata de tecnologías de última generación y más de la **capacidad de las organizaciones para construir las condiciones necesarias que sostengan el cambio en el tiempo**. Esta perspectiva resulta especialmente relevante en contextos de alta incertidumbre económica, donde la flexibilidad, la planificación gradual y el aprovechamiento de capacidades internas se convierten en factores críticos de competitividad y sostenibilidad.

Conclusiones generales de la investigación

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la aplicación de los principios de la Industria 4.0 en una PYME industrial argentina, identificando los desafíos y oportunidades que surgen en su implementación, a través del estudio de caso de Nutriterra S.A. A lo largo del trabajo se abordó este objetivo desde una perspectiva integral, combinando el análisis conceptual con el estudio empírico de una empresa real, lo que permitió obtener conclusiones relevantes tanto a nivel académico como práctico.

En primer lugar, puede afirmarse que la Industria 4.0 no constituye un fenómeno homogéneo ni de aplicación inmediata para las PYMEs industriales, sino un **proceso progresivo de transformación**, condicionado por factores tecnológicos, organizacionales, económicos y culturales. Lejos de tratarse de una simple incorporación de tecnologías avanzadas, la Industria 4.0 implica una redefinición de los modelos productivos, de la forma en que se gestionan los procesos y de la manera en que las empresas generan valor a partir de la información.

El análisis del marco teórico permitió comprender que la transición desde la Industria 3.0 hacia la Industria 4.0 supone un cambio de paradigma, donde el eje deja de estar exclusivamente en la automatización aislada para centrarse en la **integración de sistemas, el uso intensivo de datos y la interconexión entre procesos productivos, logísticos y comerciales**. En este sentido, la investigación confirma que la digitalización constituye una condición necesaria para la Industria 4.0, pero no suficiente si no se encuentra acompañada por capacidades organizacionales y estratégicas adecuadas.

A partir del estudio de caso de Nutriterra S.A., se evidencia que una PYME industrial argentina puede avanzar de manera concreta en la adopción de principios asociados a la Industria 4.0 aun en contextos de restricciones económicas y sin contar con una automatización integral de sus procesos. La empresa analizada presenta un nivel de avance superior al promedio de las PYMEs industriales, especialmente en lo referido a la digitalización de la

gestión, la integración lógica de sistemas, el uso de datos para la toma de decisiones y el desarrollo de soluciones innovadoras orientadas al cliente.

No obstante, el diagnóstico realizado permitió identificar que Nutriterra S.A. se encuentra en una **etapa de transición**, caracterizada por la coexistencia de prácticas tradicionales con desarrollos tecnológicos avanzados. Esta situación resulta representativa de muchas PYMEs familiares, donde la transformación digital se construye de manera incremental, apoyándose en el conocimiento acumulado de la organización y en la incorporación progresiva de nuevas herramientas.

Un aporte central de esta investigación radica en la identificación de las **condiciones clave para una implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares**. A partir del análisis realizado, se concluye que el éxito de estos procesos depende menos de la adopción inmediata de tecnologías de última generación y más de la capacidad de las empresas para construir un entorno organizacional, estratégico y económico que habilite la transformación digital de manera sostenible en el tiempo.

En relación con el **primer objetivo específico**, orientado a caracterizar el concepto y los fundamentos de la Industria 4.0, se concluye que este paradigma industrial trasciende el plano tecnológico y debe ser comprendido como un proceso de transformación integral. La Industria 4.0 implica repensar los modelos de producción, la gestión de la información y la relación con clientes y proveedores, incorporando tecnologías digitales como medio para mejorar la eficiencia, la flexibilidad y la capacidad de respuesta de las organizaciones.

Respecto del **segundo objetivo específico**, vinculado al análisis del grado de preparación y avance en la incorporación de tecnologías de la Industria 4.0 en Nutriterra S.A., se concluye que la empresa presenta avances significativos en digitalización y gestión de datos, combinados con un nivel intermedio de automatización productiva. La existencia de sistemas propios, la integración de información en tiempo real y el uso de herramientas de análisis permiten

afirmar que la organización cuenta con una base tecnológica sólida para continuar profundizando su proceso de transformación digital, aunque aún enfrenta desafíos vinculados a la integración ciberfísica y a la automatización integral de ciertos procesos.

En cuanto al **tercer objetivo específico**, orientado a identificar las condiciones clave para una implementación efectiva de la Industria 4.0 en PYMEs familiares, la investigación permitió sistematizar un conjunto de dimensiones interrelacionadas que actúan como habilitantes del proceso. Estas condiciones incluyen el liderazgo estratégico, la cultura organizacional, la gestión del cambio, la digitalización previa, la integración tecnológica y la administración prudente de las inversiones. La articulación coherente de estas dimensiones emerge como un factor determinante para el éxito de la adopción de la Industria 4.0 en el contexto de las PYMEs familiares.

De este modo, los objetivos específicos planteados al inicio de la investigación se consideran cumplidos, aportando evidencia empírica y conceptual sobre la aplicabilidad real del paradigma Industria 4.0 en PYMEs industriales argentinas.

Aportes del estudio y contribuciones a la práctica empresarial

Uno de los principales aportes del presente trabajo consiste en ofrecer una **mirada aplicada y contextualizada** sobre la Industria 4.0 en PYMEs industriales argentinas, alejándose de enfoques normativos o excesivamente tecnológicos. El estudio demuestra que la transformación digital puede abordarse desde una lógica gradual, adaptada a las capacidades y restricciones propias de las PYMEs familiares, sin necesidad de replicar modelos diseñados para grandes corporaciones.

Asimismo, la investigación aporta un **modelo conceptual de condiciones clave** que puede servir como herramienta de diagnóstico y orientación para otras PYMEs interesadas en iniciar o profundizar procesos de transformación

digital. Este modelo permite identificar fortalezas y brechas internas, priorizar inversiones y reducir riesgos asociados a la adopción tecnológica, contribuyendo a una gestión más estratégica de la Industria 4.0.

Desde el punto de vista práctico, el caso Nutriterra S.A. evidencia que el desarrollo de soluciones propias, la integración de datos y la orientación al cliente pueden constituir fuentes de ventaja competitiva, incluso en sectores tradicionales. La experiencia analizada muestra que la Industria 4.0 no solo impacta en la eficiencia interna, sino también en la forma en que las empresas se vinculan con sus clientes, generando nuevos servicios y propuestas de valor.

Recomendaciones para la implementación de la Industria 4.0 en PYMEs familiares

A partir de las conclusiones obtenidas, se formulan a continuación una serie de recomendaciones orientadas a PYMEs familiares que buscan avanzar en la adopción de la Industria 4.0:

En primer lugar, se recomienda abordar la transformación digital como un **proceso estratégico de largo plazo**, evitando enfoques fragmentados o puramente reactivos. La definición de una visión compartida respecto del rol de la tecnología resulta fundamental para orientar las decisiones de inversión y coordinar los esfuerzos organizacionales.

En segundo término, resulta clave fortalecer las **capacidades internas de gestión tecnológica**, promoviendo la capacitación del personal y la participación transversal de las distintas áreas de la empresa. La apropiación interna de las tecnologías reduce la dependencia de soluciones externas y favorece la sostenibilidad del proceso de transformación.

Asimismo, se recomienda priorizar la **digitalización e integración de la información** como paso previo a la automatización avanzada. La calidad y

disponibilidad de los datos constituyen un activo estratégico para la Industria 4.0 y deben ser gestionadas de manera sistemática.

Desde una perspectiva económica, se sugiere adoptar esquemas de **inversión gradual**, evaluando el impacto de cada iniciativa y priorizando aquellas que generen valor tangible en términos de eficiencia, control y servicio al cliente. La prudencia financiera y la gestión del riesgo aparecen como condiciones necesarias para sostener el proceso en contextos de incertidumbre.

Finalmente, se destaca la importancia de concebir la Industria 4.0 como una oportunidad para **redefinir la relación con los clientes**, incorporando servicios basados en datos, trazabilidad y monitoreo, que permitan diferenciar la propuesta de valor y fortalecer la competitividad de las PYMEs familiares.

Líneas futuras de investigación

El presente trabajo abre diversas líneas de investigación futuras. Entre ellas, se destaca la posibilidad de realizar estudios comparativos entre PYMEs industriales de distintos sectores, con el fin de analizar cómo varían las condiciones habilitantes de la Industria 4.0 según el contexto productivo. Asimismo, resulta de interés profundizar el análisis cuantitativo del impacto económico de la transformación digital en PYMEs familiares, incorporando indicadores de productividad, rentabilidad y desempeño organizacional.

Otra línea relevante consiste en estudiar el rol de las políticas públicas y los instrumentos de apoyo en la adopción de la Industria 4.0, particularmente en economías emergentes como la argentina, donde el acompañamiento institucional puede resultar determinante para reducir brechas tecnológicas.

En síntesis, la presente investigación pone de manifiesto que la Industria 4.0 no constituye un destino predeterminado ni un modelo único a replicar, sino un proceso de transformación que debe ser interpretado y construido en

función de las características, capacidades y objetivos de cada organización. En el caso de las PYMEs industriales familiares, este camino se apoya más en la estrategia, la cultura y el aprendizaje organizacional que en la incorporación inmediata de tecnologías avanzadas. El estudio de Nutriterra S.A. demuestra que es posible avanzar de manera concreta y sostenible hacia la Industria 4.0, aun en contextos complejos, cuando la transformación digital se concibe como una herramienta al servicio del negocio y no como un fin en sí mismo.

Bibliografía

Aden Business School. (2021). *Industria 4.0 y transformación digital en América Latina*.

Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). (2022). *Programa de apoyo a la transformación digital de PyMEs en Argentina*.

Blanc, X., et al. (2021). *Modelos de madurez digital y adopción de Industria 4.0 en contextos industriales*.

Blanc, X., et al. (2024). *Competencias laborales en la era de la Industria 4.0*.

Bosch. (2021). *Industry 4.0 case studies*.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.

CAI - Centro Argentino de Ingenieros. (2021). *Industria 4.0: diagnóstico y perspectivas para la industria argentina*.

Cedec Group. (2019). *Industria 4.0: la transformación digital de la empresa industrial*.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). *Transformación digital para una mejor reconstrucción: acción inmediata para un futuro mejor*.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2021). *Tecnologías digitales para un nuevo futuro*.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) & Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2020). *La digitalización como condición necesaria para la recuperación económica en América Latina y el Caribe*.

Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard Business Review*, 96(1), 108–116.

Davies, R., et al. (2017). *Industry 4.0 and the implications for SMEs*.

Jacquez-Hernández, M., & López, M. (2018). *Industry 4.0: challenges and opportunities for SMEs*.

Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Acatech.

Kotter, J. P. (1995). Leading change: Why transformation efforts fail. *Harvard Business Review*, 73(2), 59–67.

MECALUX. (2021). *Industria 4.0: tecnologías, aplicaciones y ventajas en la gestión industrial*.

Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. (2021). *Plan de Desarrollo Productivo Argentina 4.0*.

Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación. (2023). *Industria 4.0 y transformación productiva en Argentina*.

Mon, F., & Del Giorgio, L. (2022). *Brecha digital y adopción tecnológica en PyMEs industriales argentinas*.

Motta, J., et al. (2019). *Adopción de tecnologías digitales en PyMEs industriales en América Latina*.

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford University Press.

Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.

Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 93(10), 96–114.

Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Debate.

SEGIB. (2022). *Transformación digital en Iberoamérica: políticas y estrategias para la Industria 4.0*.

Siemens. (2020). *Digitalization in manufacturing report*.

Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of sustainable enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350.

Unión Industrial Argentina (UIA). (2022). *Reporte sobre transformación digital e Industria 4.0 en empresas argentinas*.

World Economic Forum. (2016). *The future of jobs report*.

World Economic Forum. (2019). *Global Lighthouse Network report*.

CEP XXI - Centro de Estudios para la Producción XXI. (2021). *Industria 4.0 en Argentina: desafíos y oportunidades para la transformación productiva*.