

MARCO CONCEPTUAL BASE PARA EL DESARROLLO DE MODELOS DE NEGOCIOS INNOVADORES CON TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0

BASE CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR THE DEVELOPMENT OF INNOVATIVE BUSINESS MODELS WITH INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES

**Candela Zanier, Celeste Rodríguez, Facundo Molina Miller, Carlos
María Chezzi.**

niercandela@gmail.com, celesterodriguez163@gmail.com, facundomolina799@gmail.com,
carlos_chezzi@frcon.utn.edu.ar

Grupo de Investigación en Modelado, Simulación y Control (GIMOSIC), Facultad Regional Concordia,
Universidad Tecnológica Nacional, Concordia, Argentina

Recibido 12/07/2024; Aceptado: 25/09/2024

Resumen: La Industria 4.0 puede definirse como la fusión entre el proceso de producción de productos o servicios y las tecnologías de la información y las comunicaciones. Pero la implementación de estas tecnologías no garantiza el éxito y la rentabilidad económica, se requiere de una transformación cultural, organizacional y de una reingeniería basada en la incorporación de innovación en los modelos de negocios tradicionales. En este trabajo se presenta un marco conceptual abstracto que propone las bases para la identificación de las capacidades de creación de valor ofrecidas por las tecnologías de la Industria 4.0 y se desarrolla una estrategia para la evaluación del proceso de digitalización en pymes. Como resultado se presenta un análisis de la aplicabilidad del marco conceptual propuesto en contexto tecnológico y de negocios, en la industrial regional.

Palabras-clave: Marco Conceptual; Industria 4.0; Innovación; Modelos de Negocios; Tecnologías.

Abstract: Industry 4.0 can be defined as the fusion between the production process of products or services and information and communications technologies. But the implementation of these technologies does not guarantee success and economic profitability; it requires a cultural and organizational transformation and reengineering based on the incorporation of innovation in traditional business models. This work presents an abstract conceptual framework that proposes the bases for identifying the value creation capabilities offered by Industry 4.0 technologies and develops a strategy for evaluating the digitalization process in SMEs. As a result, an analysis of the applicability of the proposed conceptual framework in a technological and business context is presented in the regional industry.

Keywords: Framework; Industry 4.0; Innovation; Business Models; Technologies.

1. Introducción

Las técnicas y estrategias tradicionales de la producción industrial se enfrentan a un desafío sistemático que demanda la revisión de las mismas y exige un proceso de transformación. Este proceso se ve estimulado y potenciado por la velocidad en los avances de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y por la efectividad de su integración a las plataformas de fabricación (Fobiri y otros, 2024). Es así, que se requiere la formulación de un nuevo modelo al que se ha identificado como Paradigma 4.0 (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2021) que propicie el marco conceptual con un enfoque innovador, basado en las propuestas de la Industria 4.0 (Piepoli y otros, 2024; Data Science Challenges in Industry 4.0, 2020).

El concepto de Industria 4.0 puede definirse como: (i) la fusión entre el proceso de producción de productos o servicios y las TIC para comunicar personas, información y máquinas, con el fin de proponer una integración óptima de los ambientes físicos y virtuales (Ibarra, Ganzarain e Iga, 2018) y (ii) la configuración de un sistema físico cibernético que a través de la interacción de los componentes físicos con la virtualidad, incorpore tecnologías disruptivas, digitalización e integración que posibiliten la creación de fábricas inteligentes (Khan, Ahmad y Majava, 2023) y (iii) conjuntos de plataformas digitales con capacidades de integración de los procesos productivos y de negocios que aborden la cadena de valor completa (Harno, 2024). De este modo, se potencia la reestructuración de las fábricas desde la digitalización y la integración total de la cadena de valor para la generación de un modelo de producción de alta flexibilidad, con una continua interacción entre todos sus componentes, la operación de datos con capacidades de autocontrol y el agregado de inteligencia en los procesos, productos y servicios.

En cuanto a los recursos TIC para el proceso de digitalización se destacan: (i) sistemas físicos cibernéticos con capacidades de automatización y control automático (Mahmoodi, E. y otros, 2024; Cogliati y otros, 2018), (ii) generación de sistemas de control, que excedan los límites de la estructura local en base a tecnologías de internet de las cosas (Soori y otros, 2023; Sazzadur Rahman y otros, 2024; Saravanan y otros, 2022), (iii) incorporación de recursos de computación en la nube e internet de las cosas que posibiliten un modelo integrado y con capacidades de operación en tiempo real y de forma virtual remota, sin realizar inversiones en tecnologías informáticas propias (Al-Dulaimy y otros, 2024; Chehria y otros, 2021), (iv) robótica colaborativa (Liu y Son, 2024; Bossi, y otros, 2020), (v) inteligencia artificial y aprendizaje (Castro y otros, 2024; Jan y otros, 2020), (vi) generación de inteligencia de negocios con la aplicación de estrategias de minería de datos (Martins Siqueira y otros, 2024; Faz-Mendoza y otros, 2020), (v), incorporación de la fabricación aditiva en técnicas de diseño y elaboración (Borish y Westfall, 2020), (vii) realidad aumentada como nuevas estrategias de aprendizaje y prueba (Paelke, 2014; Marino, 2024) y (viii) fabricación virtual para el modelado y simulación computacional como técnica de diseño y prueba de productos y procesos previa a la implementación física (Soori y otros, 2024; Kranz y Zupick, 2017).

Los recursos tecnológicos descritos, por su simple implementación no garantizan el éxito y la rentabilidad económica, por lo cual se requiere el planteo de nuevas estrategias de gestión, con base en modelos de negocios que las sustenten. Para abordar estos cambios sustanciales, Javaid y otros (2024) proponen una transformación cultural, filosófica, estructural y organizacional en su conjunto y una reingeniería que produzca una innovación en los modelos de negocios tradicionales, basada fundamentalmente en la digitalización. Para ello se requiere

una transformación integral del paradigma industrial, que involucre el agregado de valor con innovaciones en toda la cadena, sus procesos e interacciones (Khan, Ahmad y Majava, 2023). Para iniciar esta transformación Nielsen, Osterwalder y Pigneur (2024) debaten los cambios sobre los desafíos a los que las empresas se enfrentan para lograr innovación en sus modelos de negocios, destacando tres aspectos fundamentales: (i) la necesidad de replantear sus estructuras, (ii) un nuevo modelo de liderazgo y (iii) una nueva cultura organizacional.

El proceso de transformación para una pyme con una estructura organizacional tradicional y con metas de reingeniería, debe sustentarse en marcos conceptuales que establezcan un andamiaje que propicie la base semántica sobre la cual elaborar nuevos modelos de negocios. Ibarra, Ganzarain e Iga (2018) proponen un marco conceptual que identifica dimensiones de madurez digital, asociando las tecnologías y el nivel de integración de las mismas a los procesos y entre procesos.

Con base en los fundamentos desarrollados en esta introducción, se presenta un nuevo marco conceptual abstracto que propone las bases para la identificación de las capacidades de creación de valor ofrecidas por las tecnologías de la Industria 4.0 y se desarrolla una estrategia para la evaluación del proceso de digitalización en pymes.

Para ello el trabajo se estructura en la sección 2, con la descripción del marco conceptual abstracto propuesto para la elaboración de un modelo de negocios innovador; la sección 3, con el desarrollo de una estrategia de evaluación del proceso de innovación con digitalización; en la sección 4 se aplica en Pymes locales el instrumento desarrollado en la sección 3 y se evalúa su efectividad; por último se presentan las conclusiones y se esbozan trabajos futuros.

2. Fundamentos teóricos para un proceso de transformación con industria 4.0

2.1. Digitalización e Innovación

Ingresar al Paradigma 4.0 implica una transformación significativa en la industria, que considera importantes cambios en los sistemas técnicos y de producción emergentes a través de la incorporación de innovaciones con base en las tecnologías mencionadas en la introducción. Dichas innovaciones se caracterizan por las habilidades y recursos para la digitalización y el desarrollo incremental de un plan de industrialización inteligente.

Si se remonta a la definición tradicional de digitalización, se la considera como un proceso de transformación de la información desde medios analógicos a dispositivos electrónicos con un formato digital, lo que propicia que la información pueda ser captada, procesada, almacenada y transmitida en un entorno digital, independientemente de su ubicación a través de redes informáticas locales o globales (Gigova, Valeva y Nikolova-Alexieva, 2019). Actualizando esta definición desde la perspectiva del Paradigma 4.0, se agrega a la misma, la incorporación de tecnologías 4.0 y su impacto en los diferentes tipos de innovación: (i) en el modelo de negocios, (ii) en los procesos y productos, (iii) en la cadena de valor, (iv) en la estructura organizacional y (v) en aspectos de marketing y relación con el cliente.

Para tener un mayor acercamiento a las formas de digitalización se pueden agrupar las tecnologías en tres grupos de acuerdo con las actividades en donde se aplican y la relación costo y beneficio que surge de su implementación:

- Hibridación del mundo físico con el digital: manufactura aditiva, impresión 3D, robótica, sistemas embebidos, sensores y actuadores, internet de las cosas industrial.

- Comunicación y tratamiento seguro de la información resultante de la hibridación: ciberseguridad, blockchain, cloud computing e internet de las cosas.
- Aplicaciones inteligentes en la gestión: inteligencia artificial, big data y analytics, simulación de entornos virtuales, realidad aumentada, plataformas colaborativas.

En cuanto a los efectos de las innovaciones por la digitalización se pueden considerar los siguientes:

- Sistemas ciber físicos que optimizan los procesos de producción en la cadena de valor, con mayor producción y aprovechamiento de recursos, nuevos modelos de ingresos y sinergia en nuevas redes empresariales.
- Flexibilidad en los procesos con capacidades de apertura a los cambios rápidos y agregado de inteligencia en los productos o servicios.
- Estructuras organizacionales abiertas a cambios en el paradigma de gestión y en un contexto de redes colaborativas.
- Comunicación directa y personalizada con el cliente, con la posibilidad de atender sus necesidades individuales y criterios específicos de diseño y configuración del producto o servicio.
- Disposición abierta para la formación continua interna y a la interacción con organizaciones externas para sociabilizar conocimientos y mantener el nivel de innovación.
- Optimización de la toma de decisiones a través de las capacidades de análisis en tiempo real y conocimientos obtenidos con recursos de la inteligencia artificial.

Por lo tanto, la digitalización en la industria implica un proceso de incorporación de las diferentes tecnologías y de nuevas destrezas y tipos de procesos, por lo cual se destaca el requisito de considerar instancias en la industrialización inteligente en diferentes niveles de madurez. Dichas instancias son necesarias para sostener un crecimiento adecuado y se pueden identificar en tres estadios: (i) proceso de digitalización, (ii) interrelación de los mismos e (iii) inteligencia de sus sistemas.

2.2. Marco Conceptual

En la Tabla 1 se propone el marco conceptual abstracto para la elaboración de un modelo innovador de negocios, con la incorporación de las tecnologías de Industria 4.0. El mismo consta de cinco columnas que describen las dimensiones para llevar a cabo la transformación digital, las tecnologías a considerar en su desarrollo, los recursos concretos con los que contribuyen dichas tecnologías, la creación de valor y el aporte a la innovación en el modelo de negocios. De este modo, se presentan los recursos tecnológicos y la capacidad de creación de valor con el fin de orientar a la construcción de modelos innovadores de negocios.

Se consideran cuatro dimensiones sobre las cuales fundamentar el desarrollo (Ibarra, Ganzarain e Iga, 2018) de modo que partiendo desde la optimización de procesos internos y externos en un modelo de negocio tradicional y aplicando una innovación incremental se puedan alcanzar nuevos modelos de negocio en un contexto de innovación. Este incremento de la dimensión se explicita numéricamente en la Tabla 1 para indicar los pasos que acentúan de menor a mayor la digitalización integración e inteligencia.

A partir de este marco conceptual el gerente de la pyme puede evaluar en qué dimensión se encuentra, identificar cuáles son las tecnologías a su disposición y evaluar su nivel de innovación en el modelo de negocio.

Tabla 1 – Marco conceptual para la innovación en modelos de negocio

Dimensiones	Tecnologías de la Industria 4.0	Impactos de la tecnología	Creación de valor	Aporte de innovación al modelo de negocios
<i>1.- Optimización de procesos internos y externos</i>	Big data, cloud computing, robots colaborativos, fábrica aditiva, inteligencia artificial, realidad aumentada, simulación.	Aumento de la eficiencia y la mejora del rendimiento. Modelización y simulación de procesos de producción.	Trazabilidad de productos y recursos. Conectividad máquina a máquina. Capacitación de empleados. Gestión transparente.	Ofertas flexibles.
<i>2.- Mejora de la conexión física y funcional con el cliente</i>	Big data, Cloud Computing, Fog Computing, Realidad Virtual.	Nuevas formas de interacción a través de puntos de contactos.	Relaciones más directas, eficientes y de largo plazo. Recopilación, seguimiento e interpretación de datos. Desarrollo de nuevos servicios.	Ventas digitales. Segmentación y personalización de clientes.
<i>3.- Nuevos ecosistemas y redes de valor</i>	Big Data, Cloud Computing, Fog Computing, Realidad aumentada o Realidad Virtual.	Vinculación de procesos con las partes implicadas. Adquisición de conocimientos científicos y tecnológicos.	Infraestructura empresarial conectada. Integración con la disponibilidad de información en tiempo real. Actualización continua y de vanguardia.	Acceso a nuevos segmentos de clientes. Inventoría de nuevos productos y servicios.
<i>4.- Nuevos modelos de negocios basados en productos y servicios inteligentes</i>	Big Data, Cloud Computing, Sensorización Inteligente, Sistemas Embebidos, Inteligencia Artificial, Simulación.	Ofrecer bienes y servicios innovadores e inteligentes. Estimular y acompañar el desempeño laboral. Modelar y simular procesos de negocios.	Integrar existentes y nuevos recursos físicos inteligentes Optimizar y ampliar las destrezas del proceso creativo Articular la relación hombre-máquina	Productos inteligentes e innovación en servicios complementarios Personalizar y diseñar un producto por parte del cliente como co-creador Diversificar y expandir los mercados

3. Estrategia de evaluación del proceso de digitalización e innovación

Complementario a lo propuesto en el marco conceptual de la Tabla 1 se plantea una estrategia de evaluación del proceso de digitalización e innovación. Dicha estrategia se fundamenta en la confección de un cuestionario que orienta en el desarrollo de un procedimiento de autoevaluación de la madurez digital y la propuesta de tópicos para la elaboración de una grilla de análisis de los datos resultantes de las respuestas al mismo.

3.1. Cuestionario

El cuestionario para la evaluación de la madurez digital se elabora sobre la base de los siguientes recursos de información: (i) hub colaborativo Intech 4.0, integrado por instituciones públicas y privadas, creado con el fin de estimular la transformación digital de las pymes (INDTech4.0, 2024), (ii) herramienta de autodiagnóstico digital avanzada (HADA) (Ministerio de Industria y Comercio del Gobierno de España, 2023) consistente en una aplicación web que a través de un cuestionario, las empresas pueden obtener una valoración de su estado de madurez digital y (iii) el trabajo de investigación (Marcon, Le Dain, y Frank, 2022).

Las preguntas del cuestionario son las siguientes:

1. ¿Podría proporcionar una breve descripción de la historia de la empresa y sus actividades actuales, incluyendo los mercados y las tecnologías?
2. ¿Cuántos empleados tiene la empresa actualmente? ¿En qué tipo de industria opera la empresa?
3. ¿Tiene conocimientos acerca del concepto de Industria 4.0? Si no lo conoce ¿cómo abordan la transformación digital?
4. ¿Dispone de una estrategia de transformación digital, con un plan de acción y una hoja de ruta para su implantación?
5. ¿Se produjeron cambios en la estructura de la empresa? En caso afirmativo ¿cómo se fueron asimilando en la vida organizacional?
6. ¿Qué nivel de digitalización tiene la industria?
 - *Estático*: desconocen lo que es la Industria 4.0 o es irrelevante para las mismas.
 - *Consciente*: se involucra en la Industria 4.0 con iniciativas pilotos e inversiones en algún área (integración limitada).
 - *Competente*: incorpora iniciativas de la Industria 4.0. Realiza inversiones en varias áreas e integra información con los proveedores y clientes.
 - *Dinámico*: Cuenta con estrategia de transformación digital. Realizan inversiones en múltiples áreas. El sistema de producción está totalmente integrado con los sistemas de gestión.
 - *Referente*: Realizan inversiones en casi todas las áreas. Hay intercambio de información a nivel interno y externo. Se están explorando los procesos autónomos y de autocorrección.
 - *Líder*: Realizan inversiones en todas las áreas. Tienen en marcha el Paradigma 4.0 y realiza un seguimiento periódico de la misma. Piezas y procesos totalmente automatizados.
7. ¿Se cuenta con documentación en papel para registrar la información generada por los procesos (producción, calidad, mantenimiento, comercial, administración) y equipamientos? ¿Tiene implementado paquetes de software utilitarios tradicionales?
8. ¿Se utilizan sistemas de información para la gestión digital de los procesos y equipamientos? (ERP, SAP, CRM, MES, GMAO, entre otros)
9. ¿Invierte en soluciones digitales de Industria 4.0? En el caso contrario ¿considera hacerlo en el futuro?
10. Los sistemas, infraestructuras y equipamientos tecnológicos actuales ¿tienen capacidad para soportar la implantación de soluciones y habilitadores digitales para llevar a cabo un proceso de transformación al Paradigma 4.0?

11. ¿El personal posee habilidades y cualificaciones digitales necesarias para la implementación de soluciones digitales de Industria 4.0? Si no posee ¿qué tipo de capacitación tienen planificada?

12. ¿Posee alguna de las siguientes tecnologías 4.0?

- Sistemas tecnológicos integrados.
- Robots industriales.
- Internet de las cosas.
- Manufactura aditiva - Impresión 3D.
- Big data.
- Computación en la nube.
- Simulación de entornos virtuales.
 - Realidad virtual.
 - Realidad aumentada.
 - Realidad mixta.
 - Gemelos digitales.
- Inteligencia artificial.
- Ciberseguridad.
- Blockchain.

13. ¿Interactúan entre las distintas áreas de la empresa? ¿De qué manera? (desde que entra la materia prima hasta que sale el producto, relación con los clientes, relación entre empresas, redes de empresas, asociaciones).

14. ¿Cuáles son los principales ejemplos de procesos internos que han sido mejorados o automatizados mediante la implementación de soluciones de la Industria 4.0?

15. ¿La evolución de sus productos o servicios está basada en la adopción de nuevos modelos de negocio para su empresa?

16. ¿Cómo está cambiando la Industria 4.0 su modelo de negocio? ¿Cuáles son las principales barreras o desafíos que ha enfrentado? (interacción de su empresa con sus clientes).

17. ¿Cómo ha transformado la adopción de la Industria 4.0 la manera en que su empresa interactúa con proveedores, socios y otros actores externos en la cadena de suministro? (propuesta de valor).

18. ¿Qué impacto ha tenido la optimización de procesos externos a través de la Industria 4.0 en la calidad del producto final y en la satisfacción del cliente? ¿Cambió su segmento de clientes?

19. ¿Puede proporcionar ejemplos concretos de cómo la reconfiguración de procesos internos y externos ha permitido a su empresa ser más ágil y receptiva a los cambios del entorno?

3.2. Modalidad de análisis de las entrevistas

Sobre la base del cuestionario se cuenta con un recurso para la realización de entrevistas a pymes. El procesamiento de la información resultante de las entrevistas requiere un procedimiento de lectura e interpretación, para lo cual se organiza una grilla de análisis con tópicos significativos. Dichos tópicos orientan en la codificación y representación de la información obtenida en las respuestas y son detallados en la Tabla 2. La selección y configuración de los tópicos se establecieron en base a los siguientes aspectos:

- Triangulación de respuestas a preguntas del cuestionario.
- Identificación de los temas relevantes para el análisis.
- Definición de escalas y niveles para los tópicos numéricos.

Para una mejor comprensión de los tópicos y abordar su interpretación se describen los siguientes:

- El tópico T5 (Tabla 2) indica la relación entre la forma de gestión interna con la innovación del producto que ofrecen, se establece una relación porcentual cuya suma será del 100% entre ambas.
- El concepto de la madurez digital en las empresas (T8 en Tabla 2) se indica con una escala de cuatro niveles, que mide la relación entre la antigüedad y el progreso de la empresa en esos años. La disposición se organiza en forma ascendente y se inicia por el nivel 1: el cual indica que no ha habido avances desde el inicio de sus actividades hasta la actualidad; nivel 2: muestra avances mínimos; nivel 3: presenta avances significativos y nivel 4: demuestra madurez digital.
- El nivel de integración (T16 en Tabla 2) se calcula como el cociente entre el número de tecnologías utilizadas y las etapas del proceso. Esto significa que mientras más etapas del proceso estén cubiertas por un menor número de tecnologías el nivel de integración será más bajo.

4. Casos de aplicación del cuestionario en pymes regionales

Para implementar la estrategia elaborada y demostrar su aplicabilidad y modo de uso, se tomó una base de datos de industrias locales de la Secretaría de Extensión Universitaria de la Facultad Regional Concordia y se seleccionan cinco empresas pymes comprometidas con la implementación del Paradigma 4.0 y que accedieron a dar la información necesaria. Las entrevistas se clasificaron de acuerdo con los sectores industriales y dentro de cada sector, a su flujo de proceso. Se abordaron los siguientes sectores: metalúrgico, aserradero, alimenticio, de servicios y desarrollo, con flujos de proceso en línea o flujos por proceso según corresponda. El resumen del proceso de codificación y representación de la información de las entrevistas se muestra en la Tabla 3. Para comprender la mencionada tabla se requiere ver la descripción de cada tópico en la Tabla 2.

El trabajo de las entrevistas a las empresas indicadas comenzó con un diálogo sobre aspectos relacionados con el concepto de Industria 4.0 y las aproximaciones a sus funcionalidades, resultando que cuatro de las cinco empresas contaban con conocimientos, pero en general con fundamentos limitados. Lo importante a destacar es que si bien no todos los entrevistados tenían internalizado el concepto y sus implicancias, manifestaban el interés por su incorporación y afirmaban haber esbozado planes para adoptar las tecnologías 4.0. Se observó que las empresas están enfocadas en la implementación de las tecnologías en áreas específicas de sus operaciones con el fin de obtener rentabilidad rápida a sus inversiones, sin una planificación consciente de la incorporación integral de las mismas en toda la cadena de valor y sin una visión de innovación en aspectos de negocio.

Tabla 2 – Tópicos considerados en la grilla de evaluación de entrevista

Identificador	Descripción
T1	Tipo de Proceso
T2	Tipo de empresa/industria
T3	Concepto de I4.0
T4	Nivel de digitalización
T5	Relación entre la forma de gestión interna con la innovación del producto que ofrecen
T6	Innovaciones en el producto o servicio final
T7	Innovaciones en el proceso
T8	Madurez digital de las empresas (relación antigüedad/avances)
T9	Documentación física
T10	Sistema de oficina

Identificador	Descripción
T11	Sistemas de gestión
T12	Capacitación a los empleados
T13	Comunicación Interna y Externa
T14	Inversión en tecnologías innovadoras
T15	Relación entre la cadena de valor, la tecnología y su influencia en el modelo de negocios
T16	Nivel de integración de las tecnologías en la cadena de valor completa

Tabla 3 – Resumen de la información recopilada

Tópico	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5
T1	En línea	Por procesos	Por procesos	Por procesos	Por procesos/ En línea
T2	Alimentos	Metalúrgica	Servicio- Desarrollo	Maquinaria y servicios	Aserradero
T3	Con conocimiento/ Incorporado	Con conocimiento/ Sin incorporación	Con conocimiento/ Incorporado	Con conocimiento/ Incorporado	Sin conocimiento/ Incorporado
T4	Dinámico	Consciente	Estático - Dinámico	Dinámico	Estático
T5	50-50	30-70	40-60	60-40	60-40
T6	No	Si	Si	No	No
T7	Si	Si	Si	Si	Si
T8	3	2	3	2	1
T9	Si	Si	Si	Si	Si
T10	Si	Si	Si	Si	Si
T11	Si	Si	Si	Si	Si
T12	Si	Si	No	Si	No
T13	Si-Si	Si-Si	Si-Si	Si-Si	Si-Si
T14	Si	No	Si	Si	Si
T16	40%	20%	30%	40%	27,77%

Indagando en las distintas áreas de las empresas y las formas en las que se podría presentar la Industria 4.0, se advirtió que las cinco empresas poseen sistemas de gestión estándares o personalizados según sus necesidades pero aún complementan los sistemas con documentación física, como planillas o planos en papel y utilizan herramientas de oficina básicas como Excel, Word y Trello que no están integrados a dichos sistemas.

Se observó inversiones en tecnologías innovadoras como por ejemplo: internet de las cosas, computación en la nube, ciberseguridad, robots industriales, entre otras. Como efecto de estas incorporaciones se abordó una propuesta de capacitaciones a sus empleados y en cuanto al nuevo personal a contratar se acordó la necesidad de solicitar competencias de operación con dichas tecnologías.

En cuanto a la relación entre la gestión interna y la innovación del producto que ofrecen (T5), se concluyó que hay empresas que ofrecen productos con base tecnológica e innovadora, pero la gestión interna y su procesamiento no muestra el mismo nivel de innovación, lo que se indica con porcentajes entre el 10 % y el 40%.

En cuanto a la madurez digital de las empresas (T8), se observó que sobre el máximo de 4 puntos, dos de las empresas alcanzaron el nivel 3, mientras que tres de ellas lograron el nivel 2. No se pudo calificar a ninguna con nivel 4 porque la adquisición de las tecnologías en los procesos demostró ser progresiva pero sin un nivel de integración e inteligencia con toda la cadena de valor.

En la comunicación interna y externa de las empresas (T13), se detectó una diversidad de enfoques. En cuanto a la comunicación interna, algunas optan por aplicaciones como Notion o Whatsapp, promoviendo información ágil e inmediata, mientras que otras prefieren el uso de correo electrónico, mostrando un enfoque más formal en la interacción interna. Además, una de las empresas ha desarrollado un sistema personalizado, adaptándose a sus necesidades específicas. En el ámbito de la comunicación externa, algunas combinan WhatsApp con presencia en línea mediante sitios web, mientras que otras usan múltiples canales, como aplicaciones de correo electrónico y llamadas telefónicas, para mantener una comunicación cercana. Estos enfoques revelan la importancia de la adaptación a las necesidades y preferencias, siendo clave poner mayor énfasis en la búsqueda de herramientas que procuren un equilibrio efectivo entre la comunicación interna y externa.

Es importante destacar que el tópico “relación entre la cadena de valor, la tecnología y su influencia en el modelo de negocios” (T15) no se completa en la Tabla 3 debido a que las cinco empresas no cuentan con modelos de negocios que cuantifiquen o muestren los beneficios intangibles de las tecnologías utilizadas.

Con respecto al nivel de integración de las tecnologías en la cadena de valor completa (T16), se identificaron las etapas del proceso y qué tecnologías de la Industria 4.0 se utilizaban en cada etapa. De los porcentajes obtenidos se observa que las cinco empresas tienen menos del 40% de tecnología integrada en su cadena de valor, debido a falta de espacio (capacidad en la planta), altos costos de adquisición, complejidad, mantenimiento y resistencia al cambio.

Es importante destacar que en las entrevistas no se pudo avanzar con las preguntas sobre la relación entre la cadena de valor, la tecnología y su influencia en el modelo de negocios, ya que no cuentan con experiencias e implementaciones avanzadas (tópico 15 de Tabla 2). Como se mencionó, las empresas conocen el concepto de Industria 4.0 pero no lo aplican en su totalidad a la cadena de valor. Además, tienen planificado incorporar las tecnologías en el futuro, por lo que su modelo de negocios no ha cambiado hasta el momento por influencia de la Industria 4.0.

5. Conclusiones y trabajo futuro

La industria 4.0 ofrece a las pymes una oportunidad para mejorar su competitividad y aumentar sus ingresos, ya que es una herramienta esencial para la recopilación, manejo y análisis de datos. La integración de las tecnologías de la Industria 4.0 varía dentro de cada cadena de valor, ya que cada empresa la adquiere a su ritmo y de acuerdo con sus capacidades.

Esta integración tecnológica requiere de bases conceptuales para que la pyme pueda encontrar un recurso estratégico para identificar nuevas metas y articular los cambios necesarios para lograrlas. Con el marco conceptual propuesto, la pyme cuenta con un recurso para iniciar un proceso de digitalización e identificación de las bases sobre las cuales diseñar un modelo de negocios innovador basado en tecnologías de la Industria 4.0 y de este modo comenzar un nuevo camino en el contexto del Paradigma 4.0. El primer paso consiste en identificar el nivel digital en la que se encuentra y para ello debe realizar una primera autoevaluación y diagnóstico. Una vez ubicada su situación de nivel digital, con base en el modelo conceptual desarrollado, se posiciona en la dimensión correspondiente y a partir de la misma puede encontrar propuestas de recursos tecnológicos 4.0, indicadores de impacto, capacidades de creación de valor y los aportes al modelo de negocio con innovación. De este modo cuenta con el andamiaje fundamental para planificar una nueva cultura organizacional, su reestructuración, nuevas modalidades de liderazgo, recursos tecnológicos 4.0, así como la reorganización de los procesos con una visión flexible que integre la cadena de valor.

Con la conciencia de que los cambios por la reingeniería implican un proceso de reconstrucción, nuevos aprendizajes y crecimiento progresivo, se debe repetir la medición de indicadores de incorporación digital y resultado de negocio de modo periódico. Para ello se propone la estrategia de evaluación del proceso de digitalización e innovación, mediante la instrumentación de un cuestionario y una estrategia de procesamiento de la información obtenida en el mismo. Con la realización del cuestionario cuenta con gran cantidad de información de las entrevistas y sobre todo con información de tipo cualitativa. Para ello se propone una estrategia de análisis para que a partir de la lectura de las respuestas, el encuestador pueda codificar la información en tópicos que la estructuren y organicen su procesamiento. esta estrategia de cuestionario y modalidad de tratamiento, la pyme puede obtener el diagnóstico inicial y a su vez continuar actualizando el proceso de maduración en el tiempo.

Como demostración del uso del instrumento diseñado en las industrias pymes regionales seleccionadas, con base en la utilización de políticas de Industria 4.0 y se aplica la metodología de análisis propuesta. Del análisis de las industrias entrevistadas se observa que hay una conciencia sobre el uso de las tecnologías, algunas el Paradigma 4.0 y otras lo están descubriendo. A su vez, todas son conscientes que el próximo paso a seguir es integrar dichas tecnologías a los procesos.

Es comprensible que muchas empresas elijan un enfoque selectivo y estratégico al implementar la Industria 4.0, debido a la necesidad de gestionar de manera eficiente sus recursos disponibles. Al enfocarse en áreas que prometen un retorno de inversión rápido, pueden financiar gradualmente la expansión de estas tecnologías a otras partes de sus operaciones. Esto les proporciona la flexibilidad necesaria para ajustarse a las cambiantes necesidades del mercado y capitalizar oportunidades emergentes.

Para aprovechar al máximo los beneficios de la Industria 4.0 las pymes deberían aumentar y mejorar sus conocimientos sobre sus tecnologías, desarrollar planes de incorporación que sean adecuados a su tamaño y sector e invertir en capacitaciones para sus empleados.

Como trabajo futuro se observa la necesidad de incorporar herramientas de inteligencia artificial para abordar los modelos de negocios, representarlos formalmente e identificar cambios que consideren características de innovación. Para ello se están identificando las herramientas de inteligencia artificial disponibles y accesibles a la pyme, se están explorando sus funcionalidades y se analizará la factibilidad de su incorporación en contexto de la lógica de negocios.

6. Referencias bibliográficas

AL-DULAIMY, A., JANSEN, M., JOHANSSON, B., TRIVEDI, A., IOSUP, A., ASHJAEI, M., GALLETTA, A., KIMOVSKI, D., PRODAN, R., TSERPES, K., KOUSIOURIS, G., GIANNAKOS, C., BRANDIC, I., ALI, N., BONDI, A., PAPADOPOULOS, A. The computing continuum: From IoT to the cloud, Internet of Things, Vol. 27, 2024, pp 1 – 33.

BORISH, M., y WESTFALL, J. Additive and Subtractive Manufacturing Augmented Reality Interface. 2020 SoutheastCon, 2020, pp. 1-6.

BOSSI, L., FALORNI, P., POCHANIN, G., BECHTEL, T., SINTON, J., CRAWFORD, F. y OGURTSO, T. Design of a robotic platform for landmine detection based on Industry 4.0 paradigm with data sensors integration. 2020

IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 y IoT, Roma, Italy, 2020, pp 16 - 20.

CASTRO, H, CÂMARA, E., ÁVILA, P., CRUZ-CUNHA M., FERREIRA, L. Artificial Intelligence Models: A literature review addressing Industry 4.0 approach, *Procedia Computer Science*, Vol. 239, 2024, Pages 2369-2376

CHEHRIA, A., ZIMMERMAN, A., SCHMIDT, R. y MASUDA, Y. Theory and Practice of Implementing a Successful Enterprise IoT Strategy in the Industry 4.0 Era. 25th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information y Engineering Systems, Vol. 192, 2021, pp. 4609–4618.

COGLIATI, D., FALCHETTO, M., PAU, D., ROVERI, M. y VISCARDI, G. Intelligent Cyber-Physical Systems for Industry 4.0. 2018 First International Conference on Artificial Intelligence for Industries, 2018, pp. 19 - 22.

Guest Editorial. Data Science Challenges in Industry 4.0. *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS*, Vol 16, N° 9, 2020, pp. 5924 - 5928.

FAZ-MENDOZA, A., GAMBOA-ROSALES, N. K., MEDINA-RODRIGUES, C. E., CASAS-Valadez, M. A., CASTORENA-ROBLES, A. y LÓPEZ-ROBLES, J. R. Intelligent processes in the context of Mining 4.0: Trends, research challenges and opportunities. 2020 International Conference on Decision Aid Sciences and Application (DASA), Sakheer, Bahrain, 2020, pp. 480 - 484.

FOBIRI, G. K., FOBIRI, S. K., ADALA, C. E., SEIDU. R. K., YUSSIF A.-R., KANSANBA, R. F., BOATENG, N. B. ICT adoption in the textile and jewelry industries for sustainable fashion: A systematic review, *Scientific African*, Vol. 24, 2024, pp. 1-12.

GIGOVA, T., VALEVA, K. y NIKOLOVA-ALEXIEVA, V. Digital Transformation - Opportunity for Industrial Growth. International Conference on Creative Business for Smart and Sustainable Growth (CREBUS), 2019, pp. 1- 4.

HARNO, JARMO. Strategic Scenario Study of Industry 4.0 Prospects. *Procedia Computer Science*, Vol. 237, 2024, pp 371-379.

IBARRA, D., GANZARAIN, J. e IGA, J. Business model innovation through Industry 4.0: A review. *Procedia Manufacturing.*, Vol. 22, 2018, pp. 4-10.

INDTech4.0. Autodiagnóstico de madurez digital por INDTech 4.0. [fecha de consulta: 5 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://amdindtech.ar/>

JAN, Z., AHAMED, F., MAYER , W., PATEL, N., GROSSMANN, G., STUMPTNER, M. y KUUSK , A. Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. *Expert Systems With Applications*, 2020, pp. 1 - 21.

JAVAID, M., HALEEM A., PRATAP, S., KUMAR S. Digital economy to improve the culture of industry 4.0: A study on features, implementation and challenges, *Green Technologies and Sustainability*, Vol. 2, N° 2, 2024, pp. 1 – 19.

KHAN, I. S., AHMAD, M. O. y MAJAVA, J. Industry 4.0 innovations and their implications: An evaluation from sustainable development perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2023, pp. 405, 1-14.

KING, S. y GROBBELAAR, S. Industry 4.0 and Business Model Innovation: A Scoping Review. *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC 2020)*, 2020, pp. 1 - 8.

KRANZ, R. y ZUPICK, N. Arena and industry 4.0. 2017 Winter Simulation Conference (WSC), 2017, pp. 4450 – 4454.

LIU, D. Y SON, S. Exploring the impact mechanism of collaborative robot on manufacturing firm performance: A dynamic capability perspective, *Sustainable Futures*, Vol. 8, 2024, pp 1 – 15.

MAHMOODI, E., FATHI, MA., GHOBAKHLOO, M., AMOS, H.C. A framework for throughput bottleneck analysis using cloud-based cyber-physical systems in Industry 4.0 and smart manufacturing, *Procedia Computer Science*, Volume 232, 2024, Pages 3121-3130.

MARCON, E., LE DAIN, M.-A., y FRANK, A. Designing business models for Industry 4.0 technologies provision: Changes in business dimensions through digital transformation. *Technological Forecasting y Social Change*, Vol. 185, 2022.

MARINO, E., BARBIERI, L-, BRUNO, F., MUZZUPAPPA M. Assessing user performance in augmented reality assembly guidance for industry 4.0 operators, *Computers in Industry*, Vol. 157, 2024, pp. 1 – 16.

MARTINS SIQUEIRA, L. G., FURLAN DE ASSIS, R., MONTECINOS, J. C. DE PAULA FERREIRA,W. Implementation of a Business Intelligence System in the Brazilian Nuclear Industry: An Action Research, *Procedia Computer Science*, Vol. 232, 2024, pp, 956-965.

Ministerio de Desarrollo Productivo. Plan de Desarrollo Productivo, Argentina 4.0. Políticas para impulsar la adaptación de la Industria Nacional al Paradigma 4.0 y promover el desarrollo de Soluciones Tecnológicas 4.0 en el país. 2021. [fecha de consulta: 05 de septiembre de 2024]. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/plan_de_desarrollo_productivo_argentina_4.0.vf__2.pdf

Ministerio de Industria y Comercio del Gobierno de España. Industria Conectada 4.0. [2023]. [fecha de consulta: 5 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/index.aspx>

NIELSEN, C., OSTERWALDER, A., PIGNEUR, Y. How do you enable business model innovation to thrive in your organisation?. *Journal of Business Models*, Vol. 12, N° 2, 2024, pp. 79-91

PAELKE, V. Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment. 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETF A), 2014, pp. 1 - 4.

SAZZADUR RAHMAN, MD., GHOSH,T., AURNA, N. F., SHAMIM KAISER, M.. ANANNYA M., SANWAR HOSEN, A. S. M. Machine learning and internet of things in industry 4.0: A review, *Measurement: Sensors*, Vol. 28, 2023, pp 1 – 19.

PIEPOLI, A., ARCIDIACONO. F., BASILE, LUIGI J., PELLEGRINO, R., SCHUPP, F., ZUEHLKE, T. The Impact of Industry 4.0 on Business Performance: A Multiple Case Study in the Automotive Sector, *Procedia Computer Science*, Vol. 232, 2024, pp. 2117-2126

SARAVANAN, G., PARKHE, S., THAKAR, C., KULKARNI, V., MISHRA, H. y GULOTHUNGAN, G. Implementation of IoT in production and manufacturing: An Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, Vol. 51, 2022, pp. 2427 - 2430.

SOORI, M., AREZOO, B., DASTRES, R. Virtual manufacturing in Industry 4.0: A review, *Data Science and Management*, Vol. 7, N° 1, 2024, pp 47-63.

SOORI, M., AREZOO, B, DASTRES, R. Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review, *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, Vol. 3, 2023, pp. 192-204,