
Aproximaciones teóricas para el análisis organizacional en la Industria 4.0: Una revisión de literatura

Recibido: 24 de mayo 2023 Aceptado: 24 de julio 2023

José Luis Sampedro Hernández¹

Resumen

El objetivo de este trabajo es explorar desde una perspectiva evolutiva las teorías relativamente recientes sobre el análisis de las organizaciones y su relación con la Industria 4.0 (I4.0). A partir de una exploración sistemática de la literatura (ESL), se analiza el tipo de capacidades y aprendizajes desarrollados por las organizaciones en el marco de los cambios disruptivos que la I4.0 genera. Estos cambios tienen sus orígenes en las recientes innovaciones digitales desarrolladas y adoptadas en principio por las grandes empresas. Si bien gran parte de la literatura revisada tiene como objeto de estudio a las organizaciones productivas de países desarrollados y de reciente industrialización, la agenda de investigación y las implicaciones tanto teóricas como empíricas son válidas también para las organizaciones productivas de países en desarrollo. Se exploran las teorías organizacionales desde una perspectiva evolutiva, particularmente las teorías del

aprendizaje organizacional, aprendizaje tecnológico, cambio organizacional y capacidades de absorción de conocimiento para determinar las contribuciones más importantes de los artículos publicados en SCOPUS y Web of Science de los últimos años y así conocer los temas de investigación emergentes y futuros.

Palabras clave

Aprendizaje organizacional, Aprendizaje tecnológico, Cambio organizacional, Capacidades de absorción, Industria 4.0

Abstract

The aim of this paper is to explore from an evolutionary perspective the recent theories on the analysis of organizations and their relationship with Industry 4.0 (I4.0). Based on a systematic literature review (SLR), the type of capabilities and learning developed by organizations within the framework of the disruptive changes that I4.0 generates is analyzed. These changes have their origins in recent digital innovations

¹ Profesor-Investigador del Departamento de Estudios Institucionales de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa. Mexicano. <https://orcid.org/0000-0003-1942-0286>
jsampedro@cua.uam.mx

developed and initially adopted by large companies. Although much of the reviewed literature focuses on firms from developed and newly industrialized countries, the research agenda and both theoretical and empirical implications are also valid for firms from developing countries. Organizational theories were explored from an evolutionary perspective, particularly the theories of organizational learning, technological learning,

organizational change and absorptive capacities to determine the most important contributions, and emerging and future research topics from the articles published in SCOPUS and Web of Science in recent years.

Keywords

*Organizational learning;
Technological learning;
Organizational change; Absorptive capacity; Industry 4.0*

Introducción

Las sociedades, los sectores productivos y en particular las organizaciones están transitando por un nuevo paradigma tecno-económico denominado Industria 4.0 (I4.0) y cuya columna principal son las innovaciones digitales. Este paradigma está basado en el desarrollo de sistemas que integran tecnologías digitales disruptivas (TDD) y tecnologías de información y comunicación (TIC). La incidencia de estas tecnologías en la estructura y desempeño de las organizaciones productivas aún es poco conocida tanto en países desarrollados como en desarrollo, se prevén escenarios con efectos positivos y escenarios con mucha incertidumbre. Sin duda, la pandemia generada por COVID-19 aceleró la incorporación de TDD en diversas actividades productivas tanto de manufactura como de servicios, en algunos sectores surgieron nuevos modelos de negocios como las dark-kitchen², en otros se aceleró su implementación y uso como en la salud, pero en otros sectores es poco claro cómo incorporarán las TDD en sus procesos para mejorar su desempeño, competitividad local, nacional e internacional.

Una de las tesis planteadas es que la evolución hacia un paradigma dominado por las tecnologías digitales requiere del desarrollo cada vez en menor tiempo de capacidades para identificar amenazas, adaptarse al mercado y transformarse en entornos cada vez más turbulentos (Sampedro y Tapia, 2023). Estas capacidades son de distinta naturaleza: organizacionales, tecnológicas, de absorción de

² También conocidas como “cocinas o restaurantes fantasma”. Son un modelo de negocio que se basa en la elaboración de alimentos exclusivamente para la venta a domicilio. Diversos restaurantes comparten un espacio físico, proveedores de insumos, procesos, plataformas de reparto y repartidores, etc., lo que les permite reducir costos de operación

conocimiento, de aprendizaje, entre otras. Su desarrollo no es automático ni lineal, implica esfuerzos importantes de inversión en activos tangibles e intangibles como el conocimiento, diseño de estrategias tecnológicas de exploración y explotación de conocimiento. La literatura sobre estos temas ha acumulado importante evidencia de la incidencia e impacto positivo de esas capacidades en la tasa de innovación y en el desempeño de las empresas de diversos sectores.

50 años después de la aparición de las microcomputadoras, de sistemas operativos y posteriormente de las redes de comunicación como la Internet, a pesar de su amplia difusión en diversos sectores industriales, aún hay regiones en desarrollo y organizaciones productivas que han implementado las TIC de manera limitada, las razones son diversas, por ejemplo, falta de infraestructura adecuada (internet, electricidad, etc.), insuficiencia de inversión en equipo, falta de personal capacitado para un uso eficiente de las TIC, ineficacia de las políticas públicas o ausencia de una política industrial y tecnológica, etc. Lo anterior impacta en, por ejemplo, un bajo desempeño organizacional, una incipiente tasa de innovación, pérdida de competitividad de los sectores productivos, una ampliación de las brechas tecnológicas entre empresas y sectores. Actualmente, esos rezagos y retos tecnológicos se ven acrecentados por las nuevas TDD cuya tasa de difusión va incrementándose rápidamente y ampliándose a diversos sectores productivos, pero contamos con poca evidencia para analizar los efectos e impactos de las TDD en el desempeño de las organizaciones y sectores productivos, sin embargo, los pocos estudios han hecho énfasis en la relevancia de crear diversas capacidades (por ejemplo, organizacionales, tecnológicas, de aprendizaje e innovación) para incorporarse en la dinámica de cambio tecnológico marcado por las TDD.

Ante este escenario, el objetivo de este trabajo es explorar desde una perspectiva evolutiva teorías relativamente recientes sobre el análisis de las organizaciones y su relación con la I4.0. La pregunta de investigación planteada es ¿cuáles son las capacidades y tipos de aprendizaje desarrollados por las organizaciones productivas en la implementación de las TDD? La proposición planteada es que el aprendizaje tecnológico, el aprendizaje organizacional, el cambio organizacional y las capacidades de absorción juegan un rol cada vez más importante en los procesos de adopción y transformación digital.

A partir de una exploración sistemática de la literatura (ESL), se analiza el tipo de capacidades y tipos de aprendizaje desarrollados por las organizaciones en el marco de la I4.0. Si bien gran parte de la literatura revisada tiene como objeto de estudio a las organizaciones productivas de países desarrollados y de reciente

industrialización, la agenda de investigación y las implicaciones tanto teóricas como empíricas son válidas también para investigadores, tomadores de decisiones y organizaciones productivas de países en desarrollo.

La estructura del trabajo es la siguiente: en el apartado dos se describe de manera general la evolución del paradigma de las TIC al paradigma de las TDD. En el siguiente apartado se describe el marco teórico de referencia. En el apartado cuatro se describe la metodología. En el apartado cinco se presentan los resultados y la nueva agenda de investigación. Finalmente, se presentan las conclusiones y las limitaciones del trabajo.

Cambio e incertidumbre tecnológica: del paradigma de las TIC a las innovaciones digitales.

Chandler y Cortada (2002) explicaron los hechos históricos, tecnológicos, organizacionales e institucionales que configuraron el paradigma de las TIC del siglo XX. Aunque los antecedentes tecnológicos más relevantes de este paradigma se remontan al desarrollo de la electrónica de principios de ese siglo (por ejemplo, tubo al vacío, radio, TV, tarjetas perforadas y el transistor), fue a mediados del siglo XX que inició el desarrollo de las tecnologías que dieron vida a las industrias de las TIC: hardware, software, telecomunicaciones y redes. Estas innovaciones tecnológicas transformarían los procesos industriales, de comunicación, procesamiento, almacenamiento y gestión de grandes cúmulos de datos e información. Los desarrollos tecnológicos se acompañaron de transformaciones en los ámbitos organizacionales, de negocio, financieros, institucionales, culturales y sociales; es decir, surgieron nuevas empresas e industrias, nuevos modelos de negocio y de financiamiento, nuevas reglas institucionales y políticas industriales, y esto en conjunto generó cambios en los patrones culturales y sociales de los individuos y las organizaciones productivas.

Los principales artefactos tecnológicos de hardware como las computadoras centrales (década de 1940-1950), minicomputadoras (década de 1960), microcomputadoras (década de 1970), estaciones de trabajo (década de 1980), PDA y gadgets (década de 1990-2000), se difundieron gradualmente entre los diversos sectores industriales y de servicios y fueron cada vez más accesibles, tanto por precio como por disponibilidad, entre los diversos sectores de la sociedad. Aunque el software en sus inicios (década de 1950) se desarrolló en conjunto con el hardware, el uso industrial de las computadoras estimuló el desarrollo de una industria de software y los usuarios (grandes empresas) tuvieron una participación importante en el diseño y desarrollo de los sistemas operativos y diversos

algoritmos. En la década de 1960 el software se desarrolló de manera independiente de la producción de hardware; una década después el software se hace masivo para las PC y en la década de 1980 se consolidan empresas de software como Microsoft, Lotus, entre otras.

Los avances del hardware (su mayor capacidad de almacenamiento y procesamiento), del software (sistemas operativos y de gestión de grandes cantidades de datos e información), las telecomunicaciones y redes de información, fueron las tecnologías que sustentaron el surgimiento de la intranet e internet en la década de 1980. Este paradigma basado en TIC se reconfiguró de manera importante a principios del siglo XXI con el nacimiento de las redes sociales, surgieron empresas como Facebook, Twitter, entre otras, las cuales transformarían las formas de comunicación y difusión de información y conocimiento tanto para empresas, como gobiernos y sociedad en general.

La amplia y rápida difusión de estas tecnologías desde la década de 1980 fueron cruciales en la configuración del paradigma de TIC, las nuevas tecnologías generaron oportunidades para algunos sectores de manufactura y de servicios, pero también escenarios de crisis y amplia incertidumbre para otros. A la fecha, en países en desarrollo aún hay un rezago importante en la adopción e implementación de TIC en muchas micro y pequeñas empresas, la infraestructura de red de internet no llega a zonas geográficas de difícil acceso o bien el servicio aún es de baja calidad, estos y otros aspectos colocan a las organizaciones en una situación de rezago y vulnerabilidad tecnológica y económica pues gradualmente pierden competitividad.

No obstante, las TIC son factores clave en la configuración del nuevo paradigma digital actualmente en desarrollo y denominado cuarta revolución industrial o I4.0. De la misma manera que el paradigma basado en TIC tuvo sus antecedentes en la electrónica de principios del siglo XX, el paradigma digital actual tiene sus antecedentes en los avances de las diversas tecnologías de hardware, software, redes y telecomunicaciones desarrolladas en las décadas previas.

Los orígenes de las innovaciones digitales como de muchas otras son evolutivos, son resultado de trayectorias evolutivas de innovación de las TIC, varias de ellas convergentes en espacio y tiempo. La interrelación entre las TIC y las innovaciones digitales (y la consecuente creación de nuevas empresas), el trabajo colaborativo entre individuos y organizaciones, el diseño de nuevas reglas del juego tanto económicas como legales y políticas configura el paradigma tecno-económico de la I4.0. Así como el paradigma tecnológico previo generó crisis y escenarios de

incertidumbre, el nuevo paradigma digital también ha generado crisis en diversos espacios públicos y privados. Las organizaciones productivas, sobre todo las micro, pequeñas y medianas empresas, entran en un escenario de presión por la necesidad de adoptar e implementar tecnologías digitales pero aún con niveles importantes de rezago en el proceso de adopción e implementación eficiente de las TIC.

El origen de la I4.0 se sitúa en Alemania, fue presentado por el gobierno federal de este país en la Feria de Hannover de 2011 como una estrategia de manufactura de alta tecnología. Como constructo nuevo, las definiciones afloran, por ejemplo, se refiere a una alta interconectividad entre los individuos, objetos y sistemas a través del intercambio de datos en tiempo real (Shin et al., 2019); también se le considera como un nuevo paradigma tecnológico basado en sistemas ciber-físicos, fábricas inteligentes, internet de las cosas, que conecta a los individuos, máquinas y datos dentro un proceso productivo de bienes y servicios (Boyer y Kokosy, 2022). Diversas tecnologías disruptivas han emergido en este paradigma, por ejemplo, microcomputadoras con alta capacidad de almacenamiento y procesamiento, programación, internet de banda ancha, internet de las cosas, cómputo en la nube, sensores, inteligencia artificial, robótica, dispositivos de realidad virtual y aumentada, big data y analítica de datos, entre otras (véase, por ejemplo, Szalavetz, 2019; Boyer y Kokosy, 2022). Estas tecnologías están cambiando los procesos industriales, las estructuras productivas tanto a nivel micro, meso y macro, creando nuevas empresas, nuevos modelos de negocio, nuevas formas de consumo, nuevas reglas del juego, etc., tal como sucedió con el desarrollo de las industrias de TIC (Sampedro y Tapia, 2023).

En la economía actual las TIC, la digitalización, así como el conocimiento y las capacidades son recursos claves para crear valor para las empresas y lograr una ventaja competitiva. Empresas como Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft, entre otras, han transformado la forma de crear y captar valor para satisfacer una sociedad con necesidades diferentes a las del siglo XX (Sampedro y Tapia, 2023).

Entre los impactos de la digitalización en la fabricación se ha evidenciado una mejora en la calidad, la eficiencia de la producción (Colledani et al., 2014), la flexibilidad, la agilidad y la capacidad de respuesta de las empresas ante las perturbaciones internas y los cambios en el entorno externo (Babiceanu y Seker, 2016), también ha permitido codificar y estandarizar algunas actividades tecnológicas, así como la Investigación y Desarrollo (I+D) relacionadas con la producción que antes se consideraban especializadas y de conocimiento tácito (Szalavetz, 2019).

La incorporación de diversas TDD en las organizaciones productivas las transforma en entidades inteligentes o smart factories. También emergen otros procesos como la manufactura inteligente (smart manufacturing), cuyo objetivo es optimizar la producción y las transacciones de productos haciendo uso completo de las tecnologías avanzadas de fabricación e información (Kusiak, 2018).

Pero no sólo las interrelaciones entre las TDD dan origen al nuevo paradigma digital, también implica una transformación en la coordinación e integración de las cadenas de valor, a nivel inter e intra organizacional, y la generación de valor tiene como base la interconexión de diversos actores económicos (Martínez et al., 2020).

Otros efectos positivos de la I4.0 se muestran en el desarrollo de nuevos productos, control de procesos, gestión de las cadenas de suministro. Tecnologías como las “nube”, ciberseguridad, big data, analítica de datos son usados en la optimización y análisis de cadenas de suministro industrial, control de la calidad del producto y en el mantenimiento activo de equipo (Chen et al., 2017). La inteligencia artificial, por ejemplo, permite a las empresas proveer servicios de datos, tales como mantenimiento predictivo para equipo y control de calidad (Patnaik, 2020, citado por Boyer & Kokosy, 2022).

La evidencia muestra que la integración de tecnologías digitales como inteligencia artificial, big data y cómputo en la nube en los procesos industriales permite a las empresas ofrecer servicios y productos a clientes o usuarios finales de manera rápida a bajo costo debido a los costos de producción personalizados y flexibles (Weking et al., 2020).

La I4.0 también está cambiando el sentido en el que se satisface las demandas de los consumidores, no sólo por la personalización de sus demandas sino porque son considerados como co-productores (Boyer y Kokosy, 2022), o co-innovadores.

Entre los sectores de manufactura que están adoptando la I4.0 se encuentra el automotriz, química, alimentos, semiconductores, entre los sectores de servicios se encuentra el financiero, bancario, educativo y salud.

Recientemente la I4.0 ha sido adoptada por la mayoría de los países europeos y China (Boyer y Kokosy, 2022). En países en desarrollados como los latinoamericanos, y México en particular, se carece aún de una estrategia consistente de largo plazo o política industrial, no obstante, en México hay algunos estudios que se insertan en esta discusión (véase, por ejemplo, Sánchez, 2018; Martínez, 2020; Tapia, 2021; Sampedro y Tapia, 2023; Solleiro, 2023). Las

empresas mexicanas que han implementado TDD han buscado de forma directa o indirecta capacitar y actualizar a sus recursos humanos en el uso de estas nuevas tecnologías, dado que la tecnología por sí sola no es funcional sin la capacidad para usarla, adaptarla y desarrollarla (Sampedro y Tapia, 2023).

Marco teórico de referencia

La relación entre tecnología y estructura organizacional se ha estudiado desde la década de 1960 (Aas, 2001). Desde una perspectiva evolutiva, en las últimas décadas, en esta relación diversos conceptos toman relevancia, tales como el aprendizaje tecnológico, el aprendizaje organizacional, el cambio organizacional, las capacidades de absorción de conocimiento, entre otros. La literatura sobre estos conceptos ha evolucionado en su definición y operacionalización para explicar el comportamiento tecnológico y organizacional de las empresas. Recientemente, con estos conceptos se ha analizado el impacto de las innovaciones digitales en el desempeño de las organizaciones en escenarios de alta incertidumbre y complejidad tecnológica.

Aprendizaje tecnológico y aprendizaje organizacional

Es importante mencionar que ambos tipos de aprendizaje, tecnológico y organizacional, se basan en la experiencia acumulada por los individuos y a través de procesos de socialización por la organización, promueven el cambio y la innovación. Por esta razón, se presentan en un mismo apartado.

El concepto de aprendizaje tecnológico (AT) surge en la década de 1980 para analizar los cambios técnicos y sus efectos en el desempeño productivo e innovativo principalmente de las empresas. En su versión más clásica, el AT permite explicar los patrones de cambio en el desempeño de las actividades productivas, desempeño medido en muchos casos por el incremento de la productividad y basado en las “curvas de aprendizaje” generadas por la repetición de tareas a lo largo del tiempo. Las organizaciones construyen estas curvas de aprendizaje a partir del desarrollo de procesos, actividades y métodos de aprendizaje formales o informales. En su definición más simple, el aprendizaje tecnológico significa que las organizaciones desarrollan habilidades, crean y acumulan conocimientos para realizar mejoras técnicas en el tiempo (Bell y Pavitt, 1995, p.76).

Los supuestos subyacentes son, por un lado, que los individuos adquieren destrezas técnicas y conocimiento y a través de ellos las organizaciones aprenden (Bell, 1984), por otro, conforme se incrementan los conocimientos se obtienen mejores

habilidades para realizar las mejoras (Bell y Pavitt, 1995). Así, individuos y organizaciones adquieren destrezas técnicas y conocimiento a través de diversos procesos productivos, los cuales algunas veces descansan sobre la experiencia como el learning by doing (Arrow, 1962) o learning by using (Rosenberg, 1982), pero también sobre la socialización del conocimiento (learning by interacting) (Lundvall, 1992; Nonaka y Takeuchi, 1995). De este modo, el aprendizaje es visto como un proceso de retroalimentación que opera dentro de las diversas actividades productivas (planeación, operación, mantenimiento, etc.), en las cuales se generan flujos de información y conocimiento acerca del desempeño productivo, de los problemas encontrados y oportunidades percibidas que estimulan la realización de las mejoras.

El AT ocurre a diferentes niveles y velocidades, sus implicaciones son consecuencias positivas que se pueden traducir en mejoras productivas y organizacionales (Dodgson, 1993), aunque no siempre, Hobday (2000) de alguna manera invalida este determinismo al argumentar que el AT es cualitativamente una actividad informal, idiosincrásica, acumulativa e incierta en sus resultados.

Por su parte, el aprendizaje organizacional (AO) se ha definido como un proceso de cambio y mejora de las actividades de la organización a través de un mejor conocimiento creado a partir de la experiencia (Fiol y Lyles, 1985; Bell, 1984). Este cambio organizacional ocurre en el tiempo a partir de experiencias que son evaluadas o medidas en términos del número de tareas desempeñadas y acumuladas en el tiempo (Argote y Miron-Spektor, 2011).

Las experiencias son categorizadas en el contexto en el que se genera el aprendizaje, pero al mismo tiempo este contexto afecta la experiencia que la organización adquiere y configura diferentes procesos para lograr el aprendizaje (Argote y Miron-Spektor, 2011; Sun y Anderson, 2010). En la literatura reciente se explican procesos básicos de AO tales como la creación, adquisición, retención, transferencia y difusión de conocimientos (Argote y Miron-Spektor, 2011; Nonaka y Takeuchi, 1995). El primer proceso implica el acceso a nuevas y diversas experiencias y su adaptación a nuevos contextos. El segundo y tercero involucran la réplica de actividades. El cuarto y quinto implican la socialización de las experiencias y conocimientos entre los grupos de trabajo. Cada proceso tiene una estructura particular con categorías analíticas, variables e indicadores de evaluación y medición, y en algún sentido cada uno ha sido explicado en cuerpos de literatura complementarios.

El aprendizaje organizacional representa un proceso continuo a través del cual las organizaciones aprenden y se transforman (Senge, 1990), y promueve la innovación. Pero Las capacidades de aprendizaje aún son poco exploradas en el contexto de la I4.0 (Tortorella et al., 2022).

La adopción de tecnologías asociadas a la I4.0 es relativamente reciente, por ello la comprensión sobre sus implicaciones en las organizaciones es incipiente, especialmente cuando se consideran factores socioculturales como el aprendizaje. Hay mucha especulación sobre el impacto de las tecnologías de la I4.0 y su potencial sinergia con los factores socioculturales existentes (Tortorella et al., 2020).

Cambio organizacional

Los estudios sobre AO y AT parten del supuesto de que el aprendizaje inicia a nivel individual (Argyris y Schön, 1978; Bell, 1984), la intuición y la interpretación son componentes centrales en este nivel (Sun y Anderson, 2010). A través de diversos procesos de socialización los elementos de ese aprendizaje individual se incorporan en el aprendizaje grupal (Lundvall, 1992; Nonaka y Takeuchi, 1995; Sun y Anderson, 2010), y son el puente que traslada el conocimiento compartido del nivel grupal al nivel organizacional (Crossan et al., 1999). Cuando el aprendizaje grupal es transferido a la organización el conocimiento creado se institucionaliza, es decir, se incrusta en los sistemas, estructuras, procesos, rutinas y prácticas de la organización (Crossan et al., 1999) y promueve el cambio organizacional, técnico y la innovación.

Pero, ¿el AT y el AO implican cambios en el comportamiento o solo cambios cognitivos? Hay cambios cognitivos como resultado del aprendizaje y cambios en el comportamiento que fomentan el desempeño (Sun y Anderson, 2010), el sistema de creencias alterado a través del aprendizaje debe cambiar el comportamiento (Argyris y Schön, 1978), es decir, el aprendizaje implica cambios cognitivos que potencialmente afectarán el comportamiento de las organizaciones en el futuro (Huber, 1991).

El aprendizaje es acumulativo y en la sociedad [así como en las organizaciones] se incorpora en lenguajes, creencias, mitos y formas de hacer las cosas, lo que es aprendido y las formas en cómo se comparte lo que se aprende entre los miembros de una sociedad, así como el proceso incremental por el cual las creencias y preferencias cambian, determinan el desempeño societal en un momento en el tiempo (North, 2008).

Capacidades de absorción

En el contexto de la I4.0, las organizaciones requieren de capacidades tecnológicas y organizacionales para usar y explotar las tecnologías digitales, es decir, necesitarán capacidades de absorción para identificarlas, adoptarlas y usarlas, y capacidades de aprendizaje que les permitan transformarse y adaptarse a un nuevo entorno digital donde las TIC y las nuevas tecnologías les generen una ventaja competitiva (Sampedro y Tapia, 2023).

Cohen y Levinthal (1990) definieron a la capacidad de absorción (CA) como la capacidad de una organización para reconocer el valor de la información nueva y externa, asimilarla y aplicar el conocimiento adquirido a sus propios productos y servicios internos. Algunos autores como Lane y Lubatkin (1998) han caracterizado tres métodos para aprender o absorber conocimiento, particularmente el conocimiento externo a la organización: pasivo, activo e interactivo. El primero implica que las organizaciones adquieren conocimiento articulado sobre procesos técnicos y de gestión de fuentes como revistas, seminarios, congresos o consultoría. El segundo implica que las organizaciones adquieren un amplio panorama de las capacidades de otras organizaciones a través de, por ejemplo, bench-marking o inteligencia competitiva y de esta manera adquieren conocimientos acerca del quién, qué, cuándo y dónde. Finalmente, el método interactivo está asociado a la colaboración entre organizaciones, por ejemplo, entre una organización que tiene el rol de maestra y otra de estudiante y ésta entiende no solo los objetivos y componentes observables de la maestra sino también los componentes más tácitos, es decir, el conocimiento acerca del cómo y por qué.

Por su parte, Zahra y George (2002) plantearon que las CA son un conjunto de rutinas organizacionales y procesos por los que la empresa adquiere, asimila, transforma y explota el conocimiento para producir una capacidad dinámica organizacional. La capacidad de adquisición permite identificar y adquirir conocimiento generado externamente que es crítico para sus operaciones. La asimilación permite analizar, procesar, interpretar y comprender la información obtenida de fuentes externas. La capacidad de transformación denota la capacidad de una empresa para desarrollar y refinar las rutinas que facilitan la combinación del conocimiento existente y el conocimiento recién adquirido y asimilado. Y la capacidad de explotación genera rutinas para refinar, ampliar y aprovechar las competencias existentes o crear otras nuevas incorporando el conocimiento adquirido y transformado.

La CA es un concepto central para analizar el aprendizaje y la gestión del conocimiento, también es importante para analizar el sistema de información y la transición hacia la I4.0 (Roberts et al., 2012; citado por Ardito et al. 2022). En esta transición las organizaciones pueden definir estrategias de adaptación y “explotación” del conocimiento ya existente y/o de “exploración” de conocimiento nuevos.

En un contexto de uso o “explotación” del conocimiento, el aprendizaje se desarrolla con base en rutinas productivas, lo que significa que se adhiere a la base de conocimiento existente y competencias de la organización sin cambiar la naturaleza básica de sus actividades (March, 1991). En algunos casos el conocimiento asimilado es utilizado para crear nuevo conocimiento y nuevos productos a través del aprendizaje explotativo (Sun y Anderson, 2010). Mientras que en un contexto de “exploración” del conocimiento, la organización experimenta con nuevas alternativas, hay una ruptura con el diseño dominante existente y cambios más allá de las reglas, normas, rutinas y actividades existentes, lo que permiten combinaciones novedosas; esta heterogeneidad de recursos provee un claro potencial para el aprendizaje y la innovación (March, 1991) en contextos de alta incertidumbre como el que se configura alrededor de la I4.0.

Metodología

Con el objetivo de investigar las principales teorías organizacionales relacionadas con la I4.0, así como el tipo de capacidades y aprendizajes desarrollados por las organizaciones para hacer frente a escenarios de alta incertidumbre tecnológica y económica, se realiza una exploración sistemática de literatura (ESL). Se consideran teorías organizacionales desde una perspectiva evolutiva, particularmente se consideran las teorías del aprendizaje tecnológico, aprendizaje organizacional, cambio organizacional y capacidades de absorción de conocimiento. Con esta revisión se intenta conocer las contribuciones más importantes de los artículos publicados en SCOPUS y Web of Science de los últimos años y conocer las áreas o temas de investigación emergentes y futuras.

Los criterios de búsqueda en las bases de datos fueron los siguientes: Industry 4.0, Fourth Industrial Revolution, 4th Industrial Revolution, Technolog* Learning, Organi* Learning, Organi* Change, Absorptive Capacity, a través del uso de operadores booleanos AND/OR. La búsqueda se hizo entre el 1 y 3 de mayo de 2023, se incluyeron artículos hasta abril de este año. Se consideraron sólo artículos publicados. La selección inicial fue de 45 artículos, los criterios de inclusión

fueron: i) que el título tuviera relación con las teorías seleccionadas, y ii) la relevancia con las teorías seleccionadas. Como resultado, se incluyeron en el análisis 21 artículos.

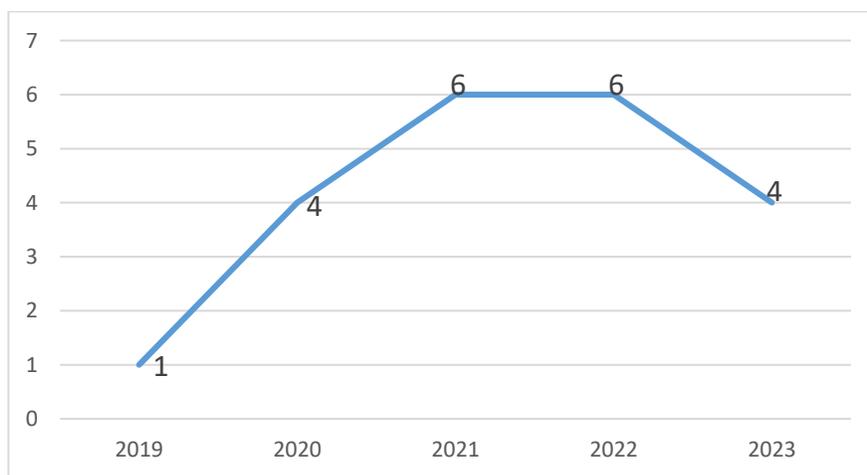
La descripción consideró el número de publicaciones por año, el número de citas por artículo y por año, el número de autores y las principales revistas. La codificación y análisis de contenido se realizó con el apoyo del software NVIVO, lo cual permite minimizar errores en la interpretación de los resultados.

Resultados

Descripción de las tendencias y los campos emergentes

El análisis de las organizaciones, desde una perspectiva evolutiva y su relación con la I4.0 está en una etapa incipiente. Como se muestra en la figura 1, el primer artículo identificado se publicó en 2019, después la tendencia creció hasta 2022 y se estabilizó en 6 publicaciones, sin embargo, hasta abril de 2023 ya se habían publicado 4 artículos (gráfica 1). Esto muestra un campo académicamente fértil para el análisis de los diversos fenómenos organizacionales que ocurren en el marco de la I4.0. Por ahora hay un fuerte sesgo de publicaciones que analizan organizaciones en países europeos y desarrollados, sólo tres artículos analizaron organizaciones de países en desarrollo.

Figura 1. Distribución de artículos por año.



Fuente: Elaboración propia.

El reporte del número de citas hasta abril de 2023 se concentra en el año 2021, con 6 artículos y 265 citas en total, aunque el promedio anual es superior en 2020 (tabla 1).

Tabla 1. Tendencia de citas y número de artículos por año.

Año	No. de artículos	Citas totales
2019	1	2
2020	4	250
2021	6	265
2022	6	117
2023	4	270

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 se muestran los artículos con mayor influencia según la tendencia de citas. Uno de los artículos de mayor influencia es el de Tortorella et al. (2020), este autor también aparece como principal en otro artículo con moderada influencia publicado en 2021. Ambas publicaciones son dos de las más importantes para el estudio de este trabajo. También se muestra una heterogeneidad en el tipo de revistas, las 10 principales revistas tienen una publicación con la mayor tendencia de citas. En la mayoría de las publicaciones aparecen 3 o 4 autores.

Tabla 2. Autores con mayor influencia según la tendencia de citas

Autores	Título	Año	Revista	Citas	Núm. autores
Tortorella, G. L., Cawley Vergara, A. M., Garza-Reyes, J. A., y Sawhney, R.	Organizational learning paths based upon industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers.	2020	International Journal of Production Economics	177	4
Nagy, M., Lăzăroiu, G., y Valaskova, K.	Machine intelligence and autonomous robotic technologies in the corporate context of SMEs: Deep learning and virtual simulation algorithms, cyber-physical production networks, and industry 4.0-based manufacturing systems.	2023	Applied Sciences	151	3
ul zia, N., Burita, L., y Yang, Y.	Inter-organizational social capital of firms in developing economies and industry 4.0 readiness: The role of innovative capability and absorptive capacity.	2023	Review of Managerial Science	119	3
Müller, J. M., Buliga, O., y Voigt, K.	The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business models - A comparison between SMEs and large enterprises.	2021	European Management Journal	115	3

Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Anzanello, M. J., Vergara, A. M. C., Vassolo, R., y Garza-Reyes, J. A.	Modeling the impact of industry 4.0 base technologies on the development of organizational learning capabilities.	2022	Operations Management Research	105	6
Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M., y Pinto, R.	How do industry 4.0 technologies influence organisational change? an empirical analysis of Italian SMEs.	2021	Journal of Manufacturing Technology Management	82	5
Lee, C., y Lim, C.	From technological development to social advance: A review of industry 4.0 through machine learning.	2021	Technological Forecasting and Social Change	51	2
Belinski, R., Peixe, A. M. M., Frederico, G. F., y Garza-Reyes, J. A.	Organizational learning and industry 4.0: Findings from a systematic literature review and research agenda.	2020	Benchmarking	48	4
Saabye, H., Kristensen, T. B., y Wæhrens, B. V.	Real-time data utilization barriers to improving production performance: An in-depth case study linking lean management and industry 4.0 from a learning organization perspective.	2020	Sustainability	17	3
Coelho, N. M., Cunha, M. M. C., y Ávila, P. S.	Application of the industry 4.0 technologies to mobile learning and health education apps.	2021	FME Transactions	12	3

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3 se muestran los temas emergentes en el marco de la I4.0 y la tendencia en el número de citas (de mayor a menor). En términos nominales, el mejor posicionado parece ser el de aprendizaje organizacional, sin embargo, el promedio de citas por artículo es mucho mayor para el tema de capacidades de absorción. Como veremos más adelante, esto puede tener una explicación por el tipo de capacidades que requieren las organizaciones productivas para usar efectivamente las tecnologías digitales en sus diversos procesos.

Tabla 3. Temas emergentes y tendencia de citas

Tema emergente	Citas	Artículos	Promedio de citas
Industria 4.0 y aprendizaje organizacional	357	7	51
Industria 4.0 y capacidades de absorción	240	3	80
Industria 4.0 y aprendizaje tecnológico	220	7	31.4
Industria 4.0 y cambio organizacional	89	4	22.3

Fuente: Elaboración propia.

Temas organizacionales emergentes desde una perspectiva evolutiva

Aprendizaje tecnológico y aprendizaje organizacional

En el contexto de la I4.0, el diseño de estrategias tecnológicas y de innovación son un punto de partida crucial para la construcción de trayectorias de innovación. En particular, la adopción de TDD se acompaña de diversas actividades y procesos como el desarrollo de habilidades y competencias de empleados, vinculación con actores clave del ecosistema digital (por ejemplo, proveedores tecnológicos y de infraestructura), vinculación con universidades y centros de investigación para el desarrollo conjunto de proyectos de I+D, entre otras actividades. Los trabajos de Ghosh et al. (2022), Boyer y Kokosy (2022), Cannavacciuolo et al. (2023), Lee y Lim (2021), Szalavetz (2019), entre otros, muestran evidencia de diversas estrategias tecnológicas, procesos y actividades de aprendizaje tecnológico en el contexto de la I4.0.

En un estudio Boyer y Kokosy (2022) analizaron dos estrategias tecnológicas importantes utilizadas por las empresas que han incorporado TDD: *technology-push*³ y *market-pull*⁴, las cuales son coexistentes en la construcción de trayectorias de aprendizaje tecnológico y de capacidades de innovación de las empresas. Encontraron que, por ejemplo, 90% de las empresas analizadas se vincularon con algún actor del ecosistema digital y 58% lo hizo con alguna universidad o centro de investigación. Uno de sus hallazgos importantes es que entre más relaciones tiene una empresa con actores del ecosistema, mayor es la probabilidad de utilizar ambas estrategias tecnológicas, es decir, el ecosistema juega un papel importante en las trayectorias de aprendizaje y de innovación de las empresas que incorporan TDD.

El trabajo colaborativo entre los agentes del sistema, así como la vinculación de la empresa con las universidades y centros de investigación, juegan un rol importante en la transformación digital de las empresas. Szalavetz (2019) también validó estos resultados en su investigación e identificó, además, que la colaboración entre los agentes ayuda a reducir la incertidumbre y solucionar problemas asociados a esa adopción tecnológica pues a medida que aumenta la adopción de TDD aumentará la demanda de sofisticación tecnológica y científica

³ Implica que la innovación es introducida al mercado a través del desarrollo tecnológico y generada en los departamentos de I+D o a través de la transferencia tecnológica desde los centros de investigación hacia las empresas.

⁴ Implica que el desarrollo tecnológico es generado por los usuarios finales, consumidores u otros individuos o grupos de individuos con necesidades y soluciones expresas.

de ingenieros e investigadores que laboran en las empresas y esto implica un reto crucial que deberán afrontar en el corto plazo.

La adopción de nuevas tecnologías en ocasiones implica que algunos cúmulos de conocimiento se vuelven obsoletos. Por ejemplo, Szalavetz (2019) argumenta que la transformación digital de la manufactura en empresas subsidiarias localizadas en Europa del Este genera mejoras significativas en las capacidades de producción local, sin embargo, la manufactura avanzada (que incorpora TDD) ha permitido la automatización de algunas actividades tecnológicas intensivas en conocimiento tácito, pero esto ha ocasionado que una parte de las capacidades relacionadas queden obsoletas. A esto se suma que las capacidades tecnológicas post-adopción de las TDD y la manufactura avanzada serán más intensivas en conocimiento que antes, y esto requerirá el desarrollo de actividades de aprendizaje y capacidades tecnológicas relacionadas con I+D.

En el mismo sentido, Ghosh et al. (2022) encontraron que, en algunos casos, las organizaciones deben desaprender enfoques viejos o conocimientos obsoletos y aprender enfoques nuevos, lo que implica una reingeniería de los sistemas de información y conocimiento, esto permitirá, según los autores, reducir la brecha entre la I4.0 y la academia en términos del desarrollo de las nuevas habilidades requeridas por esta industria. Su propuesta se centra en la relación no lineal entre aprendizaje-desaprendizaje-reaprendizaje para el desarrollo de capacidades y competencias laborales sostenibles de los recién graduados y los profesionales de la industria.

Además del desarrollo de capacidades tecnológicas que las empresas requieren para lograr un enfoque más creativo e inclusivo, los empleados necesitan crear competencias como la flexibilidad, adaptabilidad, inteligencia emocional, destrezas para la solución de problemas cognitivos (Ghosh et al., 2022). La convergencia de diferentes capacidades es importante para la innovación tecnológica y el desarrollo social (Lee y Lim, 2021). Este autor argumenta que, por naturaleza, la I4.0 es de gran amplitud e interdisciplinaria; en los distintos niveles de aplicación de las tecnologías de la I4.0 (infraestructura para la conexión, IA para la toma de decisiones, sistemas y optimización, innovación industrial y avance social) hay distintas interconexiones y se requieren diversas capacidades científicas y tecnológicas. Sin duda, los niveles de educación formal son importantes para el uso de esas tecnologías (Moraes et al., 2023).

Estudios como el de Tortorella et al. (2020) muestran que las capacidades de aprendizaje a nivel organizacional median positivamente el impacto de la I4.0 para

mejorar el desempeño operativo de las empresas. Sin embargo, el aprendizaje a nivel individual y grupal no presentan un efecto significativo sobre tal mediación. Las empresas que sistemáticamente alientan el aprendizaje y comparten conocimiento a nivel organizacional pueden obtener grandes beneficios de la adopción de tecnologías de la I4.0.

También encontraron que la I4.0 no sólo incide en los factores técnicos de la organización, también incide en los factores socioculturales, por ello es necesario comprender mejor la relación entre la I4.0 y las capacidades que promueven el aprendizaje organizacional (Tortorella et al., 2020). Sus resultados muestran que las tecnologías de la I4.0 pueden contribuir significativamente al desarrollo de capacidades de aprendizaje en todos los niveles (individual, grupal y organizacional). Es decir, las empresas que adoptan esas tecnologías, tales como internet de las cosas, cómputo en la nube, etc., tienen más probabilidad de reforzar sistemáticamente su aprendizaje y compartir su conocimiento a través de la organización. Como argumentan Sütöová et al. (2020), el aprendizaje mejora el desempeño individual y grupal aumentando las habilidades y conocimiento para el uso de tecnologías de la I4.0.

Como se supone que las tecnologías de la I4.0 facilitan y catalizan la recopilación y comunicación de datos, las personas, los equipos y la organización en su conjunto pueden beneficiarse de dicho apoyo, intercambiando información y tomando decisiones de manera más eficiente. Por ello, las capacidades de aprendizaje pueden incrementarse con la introducción de tales tecnologías (Tortorella et al., 2020).

Belinski et al. (2020) identificaron distintas categorías del aprendizaje organizacional en el marco de la I4.0, tales como la gestión, tecnologías I4.0, sustentabilidad, interacción, entre industria-academia, educación y capacitación, competencias y habilidades, las cuales se dividieron en tres dimensiones generales: desarrollo del aprendizaje, estructura de la I4.0 y adopción tecnológica.

Pocos estudios se han focalizado en el análisis del rol que juega el aprendizaje organizacional en la implementación de la I4.0 para mejorar el desempeño comercial de empresas de manufactura en países en desarrollo. Sunder M. et al. (2023) encontraron que la adopción de I4.0 media el desarrollo del aprendizaje organizacional y en su conjunto impactan en el desempeño de las empresas y en su evolución hacia su transformación en empresas inteligentes. Argumentan que en el contexto de la I4.0 las empresas presentan aprendizajes de primer orden (insignificante, básico, familiar con la I4.0), de segundo orden (experimental) y de

tercer orden (meta-aprendizaje asociado a la acumulación) en la adopción de esas tecnologías. Si bien la adopción conduce al aprendizaje, también contribuye de forma acumulativa a la conciencia que las empresas logran desarrollar sobre la I4.0, lo que lleva a un mayor efecto de mediación en los resultados del desempeño comercial.

Aunque no es privativo de las empresas en países en desarrollo, Saabye et al. (2020) encontró barreras al aprendizaje organizacional tales como resolución de problemas que no es iniciada por los operadores, operadores que no tienen habilidades de resolución de problemas de segundo orden, operadores que perciben a la nueva tecnología digital (en particular la big data) como entornos y procesos de aprendizaje coercitivos y deficientes, y una falta de liderazgo que apoye el aprendizaje.

Saabye et al. (2020) describe que la gestión eficiente de las organizaciones tiene dos perspectivas, una técnica relacionada con las tecnologías (minería de datos, internet de las cosas, robots autónomos) y sistemas tecnológicos (pull-systems, kanban, value stream mapping), otra no-técnica relacionada a los aspectos humanos y cognitivos como el aprendizaje, colaboración, liderazgo. Estos autores argumentan que la I4.0 se puede explicar con ambas perspectivas, pero hay más estudios sobre la primera que sobre la segunda, sin embargo, los aspectos no-técnicos median de manera importante en la gestión eficiente de la adopción de la I4.0.

Tortorella et al. (2022) examinaron el impacto de la adopción de TDD en el desarrollo de siete dimensiones de aprendizaje usadas como proxy para las capacidades de aprendizaje organizacional. Identificaron tres clusters: el de principiantes, en transición y avanzados. Se encontró una tendencia de aprendizaje ascendente en la primera y tercera y un patrón de aprendizaje estacionario en el segundo. No obstante, estos autores argumentan que el aprendizaje en todas sus dimensiones mejora cuando las tecnologías base de la I4.0 son extensivamente adoptadas. Como resultado, la variación en el aprendizaje es incremental hasta que los individuos, equipos y la organización ajustan adecuadamente sus comportamientos para hacer frente a la adopción de las tecnologías digitales. Dado que dicho cambio de comportamiento suele llevar mucho tiempo (Tortorella et al., 2015), el desarrollo del aprendizaje puede estancarse, provocando una frustración general e incredulidad sobre los beneficios de las tecnologías digitales. Por lo tanto, la etapa es crítica y si no son adecuadamente gestionadas puede conducir a un retroceso en el aprendizaje. Con base en estos argumentos, esta etapa se denominó como en transición. En la

tercera etapa, las empresas adoptan ampliamente las tecnologías base de la I4.0 y nuevamente perciben mejoras en sus dimensiones de aprendizaje. Esta etapa está relacionada con el concepto de explotación.

Ante el rápido cambio implicado por la I4.0, las organizaciones deben adaptar no sólo sus procesos y rutinas, sino también la forma en que individuos y equipos interactúan (Tortorella et al., 2022). Las habilidades técnicas de los profesionales de la tecnología deben seguir el ritmo de una rápida evolución, además de desarrollar habilidades que no aprendieron en su educación formal, el conocimiento multidisciplinario se valora cada vez más lo que les permite enfocarse en nuevas formas de trabajar (Hasan y Reis, 2018).

Cambio organizacional

El cambio organizacional implica cambios en la estructura, en los factores técnicos y no-técnicos de la organización. Estudios como el de Cimini et al., (2020) validan la hipótesis de que, en el contexto de la I4.0 las organizaciones necesitan “prerrequisitos” organizacionales para la adopción de tecnologías digitales. Una estructura organizacional respalda la adopción efectiva de tecnologías de la I4.0, la introducción de tales tecnologías está vinculada al desarrollo de un nuevo tipo de perfil de trabajo (es decir, el “Perfil de trabajo de operador autónomo”), y los niveles más altos de adopción de tecnología crean una mayor necesidad de competencias no técnicas. También demuestran la extrema importancia de diseñar un proceso estructurado y un conjunto claro de herramientas de gestión de recursos humanos para favorecer el desarrollo organizacional, sobre todo de las PyMEs. En este sentido, la eficacia de la adopción de la tecnología I4.0 depende de las características de la organización y, específicamente, de la preparación de una empresa para aprovechar dichas tecnologías, es decir, de las capacidades de relacionar el factor humano con las tecnologías y la organización en su conjunto.

Como se mostró anteriormente, la formación de recursos humanos especializados es otro aspecto importante, sobre todo si la formación del individuo se integra con actividades de formación de equipos (Fraser et al., 2007) y con acciones que potencien el intercambio de conocimientos entre operarios más experimentados y de nueva incorporación (Rehman et al., 2014).

Una parte importante de los prerrequisitos y cambios se trasladan fuera de las organizaciones. La pandemia generada por la COVID-19, el aislamiento social de las personas, la reducción de jornadas de trabajo, entre otros aspectos, modificaron tanto la organización del trabajo como el comportamiento de los empleos al demandar las empresas otras habilidades de los empleados. En esta

línea, Habánik et al. (2021) encontraron cambios en las perspectivas de las empresas para lograr procesos de transformación digital, haciendo evidente la importancia de un enfoque transversal que tenga en cuenta los impactos de cambio dentro de los procesos organizativos y fuera de la empresa, así como el trabajo en línea apoyado con las tecnologías digitales.

En síntesis, un primer paso para introducir tecnologías de la I4.0 en las organizaciones es la apertura a los cambios organizativos y tecnológicos y la toma de decisiones descentralizada y la auto-organización como objetivos estratégicos (Misita y Milanovic, 2019). Además de las inversiones en equipos digitales, las empresas también deben planificar inversiones en la transición organizacional, que implica la capacitación y educación de los empleados por dos razones: debido al desarrollo de sus propias habilidades, conocimientos de TI, etc. y para garantizar la implementación exitosa de la I4.0 (Misita y Milanovic, 2019).

Capacidades de Absorción

Dos conceptos que se vinculan con el concepto de CA es el de aprendizaje tecnológico (AT) y aprendizaje organizacional (AO). Ambos han transido de manera paralela y tienen intersecciones importantes, aunque falta profundizar en estas relaciones teóricas y empíricas.

Las empresas en países en desarrollo aún descansan sobre una economía intensiva en trabajo, poco especializada, con bajo contenido tecnológico y segmentos de mercado de bajo costo (Malik & Kotabe, 2009, citado en Ul Zia et al., 2023). El poco énfasis en I+D y la baja capacidad tecnológica orilla a las empresas a depender de las economías industrializadas para comprar nuevas tecnologías (Awan et al., 2021; Shamim et al., 2019). Este fenómeno refleja entre las empresas de las economías en desarrollo un nivel muy bajo de preparación para la I4.0. El bajo nivel de habilidades, las pocas inversiones en I+D y una inadecuada infraestructura educativa en los países en desarrollo perjudica la absorción de nuevo conocimiento en el contexto del paradigma de la I4.0.

En esta situación, las fuentes externas de conocimiento como las redes de oferentes, socios y clientes tienden a ser muy importantes. En particular, las empresas en economías en desarrollo que tienen redes con empresas en economías digitalmente avanzadas, como proveedores, clientes o redes de socios, pueden obtener conocimiento de esas empresas para mejorar su capacidad innovadora (Shamim et al., 2019), lo que conduce a prepararse mejor para la I4.0. Estudios como el de Ul Zia et al. (2023) y Müller et al. (2021) muestran que, en el contexto de la I4.0, las organizaciones no solo deben centrarse en las tecnologías, sino que

también deben hacer uso de las redes con socios comerciales externos y con sus “vecinos” tecnológicos de TI (o proveedores de innovaciones digitales) para diseñar sus estrategias de innovación adecuadamente, mejorar sus capacidades innovadoras y su preparación para la industria 4.0, ya que, como argumenta Ardito et al. (2022) ésta ofrece nuevas tecnologías y oportunidades para lograr y mejorar la explotación y el desempeño en las organizaciones.

A diferencia de las grandes empresas que pueden contar con estrategias tecnológicas de exploración y explotación de conocimiento y contar con metodologías como Deep Learning, Extended Reality y Blockchain, las cuales tienen el potencial de lograr un alto nivel de calidad de los productos (Sütőová et al., 2020), las PyMEs pueden implementar tecnologías de la I4.0 sin necesariamente contar con una estrategia tecnológica; sin embargo, aún es poco claro para la mayoría de las PyMEs la importancia y necesidad de incrementar sus CA y diseñar estrategias de innovación (Müller et al., 2021).

Para lograr beneficios tangibles de la innovación, las empresas necesitan aprender a intercambiar conocimientos a través de toda la organización y de sus redes de creación de valor, no solo con clientes y oferentes (Müller et al., 2021).

Un postulado importante de Ardito et al. (2022) consiste en que las investigaciones futuras deben estar orientadas al análisis de cómo la implementación de tecnologías digitales afecta los procesos organizacionales y cómo cambian las estructuras organizacionales. Aún hay pocos estudios sobre los mecanismos que están detrás de la adopción de las tecnologías digitales, de la asimilación de procesos y en cómo cambian en el tiempo. Una alineación entre la naturaleza del conocimiento y las tecnologías digitales implementadas es un factor crítico para el éxito que podría impulsar el proceso de explotación, lo contrario puede generar ineficiencia e ineficacia.

Discusión

La evidencia presentada en los apartados previos nos muestra algunos puntos convergentes con los conceptos centrales de este artículo. A continuación, extraemos lo más importante de cada concepto y de la forma en que se han analizado en el contexto de la I4.0. Primero, el concepto de AT significa que las organizaciones desarrollan habilidades, crean y acumulan conocimientos para realizar mejoras técnicas en el tiempo. La evidencia ha mostrado que algunas empresas han diseñado estrategias tecnológicas para la adopción de TDD, acompañadas de interacciones con actores del ecosistema digital, vinculación

entre empresas y universidades o centros de investigación, las diversas formas de colaboración de alguna manera ayudan a reducir la incertidumbre.

Sin embargo, en la adopción se ha evidenciado la obsolescencia de conocimientos y capacidades tecnológicas, lo que requiere de una rápida y constante actualización y capacitación en diversas áreas digitales, las cuales son intensivas en conocimientos de mayor especialidad y se deberán acompañar de actividades de I+D. En diversos estudios se ha mostrado un aumento de la sofisticación tecnológica y científica de ingenieros e investigadores asociados a la I4.0.

Los nuevos entornos de transformación digital, además, demandan de capacidades tecnológicas convergentes, trabajo interdisciplinar, formación de equipos con acciones que potencien el intercambio de conocimientos entre operarios más experimentados y de nueva incorporación, desarrollo de competencias como la flexibilidad, adaptabilidad, inteligencia emocional, destrezas para la solución de problemas cognitivos, las cuales deberán orientarse hacia un enfoque más creativo e inclusivo. Los niveles de educación formal y la constante capacitación jugarán un rol permanente e importante en este paradigma digital.

Segundo, el AO significa un proceso de cambio y mejora de las actividades de la organización a través de un mejor conocimiento creado a partir de la experiencia. Algunos de los procesos básicos del AO son la creación, adquisición, retención, transferencia y difusión de conocimientos. En ambos conceptos, AT y AO, los individuos adquieren destrezas técnicas y conocimientos (experiencias, socialización, interacción) y a través de ellos las organizaciones aprenden. Ambos promueven la innovación. Los estudios analizados muestran que las capacidades de aprendizaje a nivel organizacional median positivamente el impacto de la I4.0 para mejorar el desempeño operativo y de innovación de las empresas. Pero se requiere de una adecuada gestión de los aspectos humanos y cognitivos como el aprendizaje, colaboración, liderazgo, pues median de manera importante la adopción de las TDD. Algunas categorías importantes en los trabajos analizados son la gestión, sustentabilidad, interacción entre industria-academia, educación, capacitación, y el desarrollo de competencias y habilidades. No hay duda de que en la adopción de las TDD las empresas pueden presentar distintos niveles y barreras al aprendizaje.

Tercero, el CO significa que el aprendizaje genera cambios cognitivos que potencialmente afectarán el comportamiento de las organizaciones en el futuro. Cuando el conocimiento creado se incrusta en los sistemas, estructuras, procesos, rutinas y prácticas de la organización, es decir, se institucionaliza, se genera un

cambio en la organización. La evidencia muestra que las organizaciones que implementen TDD deben transitar por procesos de adaptación de procesos y rutinas, así como de nuevas formas en que individuos y equipos interactúen. Implica una reestructura organizacional adecuada para respaldar la adopción de TDD y de un nuevo tipo de perfil de trabajador.

Finalmente, el concepto de CA implica el desarrollo de capacidades para identificar, internalizar, difundir y usar-explotar con fines comerciales el conocimiento externo a la empresa o generado por ella. Los estudios validan que, en general, las empresas tienen un nivel muy bajo de CA para la adopción de TDD. De manera importante, en los países en desarrollo las empresas cuentan con una inadecuada infraestructura educativa y esto perjudica la absorción de nuevo conocimiento en el contexto de la I4.0, sobre todo para las PyMEs pues difícilmente tienen estrategias tecnológicas de adopción de TDD.

Con base en los párrafos previos, en la tabla 4 se muestran las preguntas más importantes de cada tema emergente.

Tabla 4. Temas emergentes para el análisis de las organizaciones en el contexto de la Industria 4.0

Tema	Principales preguntas de investigación abiertas
1. Aprendizaje tecnológico y aprendizaje organizacional	1. ¿En qué circunstancias las capacidades de aprendizaje organizacional median el impacto de las tecnologías digitales para lograr un alto nivel de desempeño? 2. ¿Cuál es la relación entre el aprendizaje individual, grupal y organizacional con el desempeño de la organización? 3. ¿Cómo la adopción de tecnologías digitales impacta en el desarrollo de capacidades de aprendizaje a nivel individual, grupal y organizacional? 4. ¿Cómo se explica el aprendizaje organizacional en el contexto de las I4.0? 5. ¿Cómo aplicar las teorías del aprendizaje al aprendizaje de la manufactura esbelta, la automatización tecnológica y otros procesos en las organizaciones? 6. ¿Cómo combinar estrategias de aprendizaje organizacional en contextos virtuales (online) versus presenciales (face-to-face) para gerentes y otros empleados de mandos medios y líderes operativos? 7. ¿Cómo individuos, grupos y organizaciones aprenden y contribuyen a cambios en el comportamiento que sustenta la I4.0? 8. ¿Cuál es el rol del aprendizaje organizacional en la adopción de la I4.0 para la mejora del desempeño organizacional en los sectores de manufactura de países en desarrollo? 9. ¿Cuáles son las barreras para los operadores de tecnologías digitales en las organizaciones productivas? 10. ¿Cómo afecta la adopción de tecnologías digitales al aprendizaje organizacional en las empresas de manufactura?
2. Cambio organizacional	1. ¿Las organizaciones productivas muestran interés en entender cómo el paradigma de la I4.0 impacta en las destrezas y competencias de los profesionales requeridas? 2. ¿En qué medida las organizaciones productivas entienden cómo el paradigma de la I4.0 impacta en la estructura organizacional de las organizaciones? 3. ¿Cómo la adopción de tecnologías digitales incide en el cambio y desempeño organizacional? 4. ¿Qué factores inciden en las decisiones de adopción de tecnologías digitales y en el rediseño de la estructura organizacional?

	5. ¿Cuáles son las mejores condiciones organizacionales para adoptar e implementar las tecnologías digitales? 6. ¿Cuál es el rol e importancia de los recursos humanos en el contexto de la I4.0? 7. ¿Cuáles son las limitaciones organizacionales, resistencias de personal, en el proceso de adopción de las tecnologías digitales? 8. ¿Cuáles son los factores contextuales y organizacionales que afecta la preparación de una organización productiva en el proceso de adopción de las tecnologías digitales?
3. Capacidades de absorción	1. ¿Cuáles son las diferencias entre PyMEs y grandes empresas con respecto a la relación sus capacidades de absorción, estrategias de innovación y modelos de negocios innovador? 2. ¿En qué circunstancias y cómo las empresas adquieren, asimilan y explotan el conocimiento externo? 3. ¿En qué circunstancias y cómo las PyMEs pueden diseñar estrategias de exploración y explotación del conocimiento? 4. ¿Cómo se vinculan las organizaciones productivas con asociaciones industriales, universidad, centros de investigación para obtener o compartir conocimiento? 5. ¿Cómo la adopción de tecnologías digitales incide en el desempeño de las organizaciones productivas? 6. ¿Qué mecanismos de aprendizaje organizacional se configuran para una efectiva absorción de conocimientos asociados a las tecnologías digitales? 7. ¿Cómo incide la implementación de tecnologías digitales en los procesos de aprendizaje y en el desempeño de organizaciones productivas? 8. ¿Cómo se debe compartir en conocimiento transformado digitalmente entre los miembros de la organización? 9. ¿Qué tipo de capacidades/habilidades deben desarrollarse para gestionar y beneficiarse del proceso de transformación resultante de la adopción de tecnologías digitales?

Fuente: Elaboración propia.

Estas preguntas corresponden a las preguntas explícitamente planteadas en los artículos como parte de su diseño de investigación, otras se plantean como parte de la nueva agenda de investigación, y otras se deducen del análisis de los resultados presentados en cada artículo. Se encontró que varias preguntas para cada tema son, de alguna manera, coincidentes entre los artículos, y para no duplicarlas se depuraron.

Las preguntas de la tabla 4 muestran diversas preguntas abiertas que aún requieren de discusión analítica y evidencia empírica. Son parte de la nueva agenda de investigación para las teorías organizacionales desde una perspectiva evolutiva.

Conclusiones

En este trabajo se realizó una exploración sistemática de literatura de teorías organizacionales novedosas. Se encontraron preguntas relevantes para analizar a las organizaciones en el contexto de la I4.0. Varios temas son convergentes: la gestión del conocimiento, las capacidades de absorción, el aprendizaje tecnológico, el cambio organizacional, la acumulación de capacidades tecnológicas y de innovación. En el centro de los diversos planteamientos está la discusión de la adopción de esas tecnologías acompañada de procesos internos y

externos a la organización en un contexto complejo y de alta incertidumbre tecnológica. Toma relevancia el aprendizaje individual, grupal y organizacional, pero también de alguna manera el inter-organizacional. Las capacidades requeridas para una adecuada adopción de tecnologías digitales son diversas y dependen en buena medida del conocimiento previo, de las trayectorias de aprendizaje acumuladas, de las estrategias tecnológicas y organizacionales diseñadas y de la naturaleza del sector productivo.

Estas preguntas abiertas nos permiten elaborar propuestas actuales para la gestión de crisis, sobre todo en el contexto de la emergencia de un nuevo paradigma tecno-económico basado en tecnologías digitales disruptivas. La dinámica del entorno hace que las empresas enfrenten amenazas constantes de obsolescencia tecnológica para cubrir tanto las demandas de sus clientes como las necesidades tecnológicas propias.

Algunas de las implicaciones empíricas que se derivan de esta exploración sistemática de literatura son, por un lado, el diseño de políticas públicas que fomenten en las PyMEs de países en desarrollo el diseño de estrategias tecnológicas para la adopción de TDD, programas de capacitación constante ante la obsolescencia de ciertas capacidades tecnológicas y un incremento de recursos humanos especializados para las distintas áreas digitales. Por otro lado, las empresas que implementan TDD están obligadas a gestionar adecuadamente los activos tangibles (particularmente las tecnologías físicas) e intangibles (conocimientos, aprendizaje, colaboración, liderazgo, etc.), desarrollar programas de capacitación constante, vinculación con universidades y centros de investigación, usuarios y otros agentes del ecosistema digital.

Finalmente, las implicaciones teóricas están claramente definidas hacia mayores estudios sobre cómo las empresas que están adoptando TDD diseñan y desarrollan procesos de aprendizaje, cómo el nuevo paradigma tecno-económico incide en esos procesos y en las trayectorias de construcción de capacidades tecnológicas, de absorción y de innovación.

Referencias

- Ardito, L., Cerchione, R., Mazzola, E., & Raguseo, E. (2022). Industry 4.0 transition: a systematic literature review combining the absorptive capacity theory and the data-information-knowledge hierarchy. *Journal of Knowledge Management*, 26(9), 2222-2254. <https://doi.org/10.1108/JKM-04-2021-0325>

-
- Awan, U., Shamim, S., Khan, Z., Zia, N. U., Shariq, S. M., & Khan, M. N. (2021). Big data analytics capability and decision-making: The role of data-driven insight on circular economy performance. *Technol Forecast Soc Chang*, 168.
- Babiceanu, R. F., & Seker, R. (2016). Big Data and virtualization for manufacturing cyber-physical systems: A survey of the current status and future outlook. *Computers in Industry*, 81, 128-137. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.02.004>
- Belinski, R., Peixe, A. M. M., Frederico, G. F., & Garza-Reyes, J. A. (2020). Organizational learning and Industry 4.0: findings from a systematic literature review and research agenda. *Benchmarking: An International Journal*, 27(8), 2435-2457. <https://doi.org/10.1108/BIJ-04-2020-0158>
- Boyer, J., & Kokosy, A. (2022). Technology-push and market-pull strategies: the influence of the innovation ecosystem on companies' involvement in the Industry 4.0 paradigm. *The Journal of Risk Finance*, 23(5), 461-479. <https://doi.org/10.1108/JRF-12-2021-0193>
- Cannavacciuolo, L., Ferraro, G., Ponsiglione, C., Primario, S., & Quinto, I. (2023). Technological innovation-enabling industry 4.0 paradigm: A systematic literature review. *Technovation*, 124, 102733. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102733>
- Chen, B., Wan, J., Shu, L., Li, P., Mukherjee, M., & Yin, B. (2017). Smart factory of Industry 4.0: key technologies, application case and challenges. *Ieee Access*, 6, 6505-6519.
- Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M., & Pinto, R. (2020). How do industry 4.0 technologies influence organisational change? An empirical analysis of Italian SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 695-721. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2019-0135>
- Colledani, M., Tolio, T., Fischer, A., lung, B., Lanza, G., Schmitt, R., & Váncza, J. (2014). Design and management of manufacturing systems for production quality. *CIRP Annals*, 63(2), 773-796. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.05.002>
- Fraser, K., Harris, H., & Luong, L. (2007). Team-based cellular manufacturing. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 18(6), 714-730.
- Ghosh, N., Ayer, B., & Sharma, R. (2022). Technology Integrated Inclusive Learning Spaces for Industry 4.0 Adaptive Learners- Lur Model for Sustainable Competency Development. *ECS Transactions*, 107(1), 13823-13832. <https://doi.org/10.1149/10701.13823ecst>
- Habánik, J., Grenčíková, A., Šrámka, M., & Húževka, M. (2021). Changes in the organization of work under the influence of COVID-19 pandemic and Industry 4.0.

-
- Economics & Sociology, 14(4), 228-241. <https://doi.org/10.14254/2071-789X.2021/14-4/13>
- Hasan, N. M., & Reis, J. D. da S. (2018). Organizações Inovadoras que Utilizam a Revolução 4.0. Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas, 2(3), 9-20. <https://doi.org/10.17564/2359-4942.2018v2n3p9-20>
- Lee, C., & Lim, C. (2021). From technological development to social advance: A review of Industry 4.0 through machine learning. Technological Forecasting and Social Change, 167, 120653. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120653>
- Martínez, A., Álvarez, M. d. L., & Garnica, A. (2020). Industria 4.0 en México. Elementos diagnósticos y puesta en práctica en sectores y empresas. . Plaza y Valdés Ed.
- Moraes, E. B., Kipper, L. M., Hackenhaar Kellermann, A. C., Austria, L., Leivas, P., Moraes, J. A. R., & Witzak, M. (2023). Integration of Industry 4.0 technologies with Education 4.0: advantages for improvements in learning. Interactive Technology and Smart Education, 20(2), 271-287. <https://doi.org/10.1108/ITSE-11-2021-0201>
- Müller, J. M., Buliga, O., & Voigt, K.-I. (2021). The role of absorptive capacity and innovation strategy in the design of industry 4.0 business Models - A comparison between SMEs and large enterprises. European Management Journal, 39(3), 333-343. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2020.01.002>
- Nagy, M., Lăzăroiu, G., & Valaskova, K. (2023). Machine Intelligence and Autonomous Robotic Technologies in the Corporate Context of SMEs: Deep Learning and Virtual Simulation Algorithms, Cyber-Physical Production Networks, and Industry 4.0-Based Manufacturing Systems. Applied Sciences, 13(3), 1681. <https://doi.org/10.3390/app13031681>
- Rehman, M., Kamil Mahmood, , A., Salleh, R., & Amin, A. (2014). Framework to increase knowledge sharing behavior among software engineers. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 7(4), 849-856.
- Saabye, H., Kristensen, T. B., & Wæhrens, B. V. (2020). Real-Time Data Utilization Barriers to Improving Production Performance: An In-depth Case Study Linking Lean Management and Industry 4.0 from a Learning Organization Perspective. Sustainability, 12(21), 8757. <https://doi.org/10.3390/su12218757>
- Sampedro, J. L., & Tapia, S. (2023). Capacidades dinámicas y revolución digital en la manufactura mexicana. Ciencia, 74(2), 42-49.
- Senge, P. (1990). The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization. Doubleday.

-
- Shamim, S., Zeng, J., Shariq, S. M., & Khan, Z. (2019). Role of big data management in enhancing big data decision-making capability and quality among Chinese firms: A dynamic capabilities view. *Inf Manag*, 56(6).
- Shin, W., Lee, S., & Dahlgaard, J. J. (2019). A pattern-based decision framework in the era of Industry 4.0. *Total Qual Manage Bus Excellence*, 30(1), S158-S181.
- Sunder M., V., Prashar, A., Tortorella, G. L., & Sreedharan, V. R. (2023). Role of Organizational Learning on Industry 4.0 Awareness and Adoption for Business Performance Improvement. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 1-14. <https://doi.org/10.1109/TEM.2023.3235660>
- Sütöová, A., Šooš, L., & Kóča, F. (2020). Learning Needs Determination for Industry 4.0 Maturity Development in Automotive Organisations in Slovakia. *Quality Innovation Prosperity*, 24(3), 122-139. <https://doi.org/10.12776/qip.v24i3.1521>
- Szalavetz, A. (2019). Industry 4.0 and capability development in manufacturing subsidiaries. *Technological Forecasting and Social Change*, 145, 384-395. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.06.027>
- Tortorella, G. L., Cawley Vergara, A. Mac, Garza-Reyes, J. A., & Sawhney, R. (2020). Organizational learning paths based upon industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 219, 284-294. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.06.023>
- Tortorella, G. L., Fogliatto, F. S., Anzanello, M. J., Vergara, A. M. C., Vassolo, R., & Garza-Reyes, J. A. (2022). Modeling the impact of industry 4.0 base technologies on the development of organizational learning capabilities. *Operations Management Research*. <https://doi.org/10.1007/s12063-022-00329-w>
- Tortorella, G. L., Marodin, G. A., Fogliatto, F. S., & Miorando, R. (2015). Learning organisation and human resources management practices: an exploratory research in medium-sized enterprises undergoing a lean implementation. *Int J Prod Res*, 53(13), 3989-4000.
- ul zia, N., Burita, L., & Yang, Y. (2023). Inter-organizational social capital of firms in developing economies and industry 4.0 readiness: the role of innovative capability and absorptive capacity. *Review of Managerial Science*, 17(2), 661-682. <https://doi.org/10.1007/s11846-022-00539-3>
- Weking, J., Stocker, M., Kowalkiewicz, M., Bohm, M., & Krcmar, H. (2020). Leveraging Industry 4.0- A business model pattern framework. *International Journal of Production Economics*, 225.