

¿El Smart manufacturing es realmente una alternativa sustentable en los procesos de transformación industrial?

Is Smart manufacturing really a sustainable alternative in industrial transformation processes?

Ruth Selene Ríos Estrada^I, José Ignacio Ponce Sánchez^{II} y Graciela Carrillo González^{III}

Resumen

La fabricación industrial es una de las actividades productivas que ha tenido un impacto ambiental considerable ante la urgencia de minimizar los daños al planeta hay un interés por mejorar los procesos manufactura; en ese sentido, parecería ser que con la implementación de las tecnologías asociadas a la industria 4.0 se pueden eficientar las operaciones y así, hacerlas más sustentables. El objetivo de este artículo analizar y discutir la relación que tienen las tecnologías asociadas al smart manufacturing para conocer su impacto en los procesos industriales y sus posibilidades en la disminución de impactos ambientales. Este texto está basado en una revisión teórica que analiza las perspectivas críticas de la tecnología, utilizando como metodología una búsqueda bibliométrica para conocer la orientación de las investigaciones que se han generado a partir de la implementación del smart manufacturing en las organizaciones industriales. Los principales resultados derivados de este artículo intentar señalar que existe una contradicción entre el avance de la tecnología y el uso de recursos naturales.

Palabras clave: Gestión Industrial, Gestión ambiental, Análisis de datos, Capitalismo
Código JEL: E23, K32, L16

Abstract

Industrial manufacturing is one of the productive activities that has had a considerable environmental impact. Given the urgency of minimizing damage to the planet, there is an interest in improving manufacturing processes; In that sense, it would seem that with the implementation of technologies associated with Industry 4.0, operations can be made more efficient and thus make them more sustainable. The objective of this article is to analyze and discuss the relationship that technologies associated with smart manufacturing have to understand their impact on industrial processes and their possibilities in reducing environmental impacts. This text is based on a theoretical review that analyzes the critical perspectives of technology, using a bibliometric search as a methodology to understand the orientation of the research that has been generated from the implementation of smart manufacturing in industrial organizations. The main results derived from this article try to point out that there is a contradiction between the advancement of technology and the use of natural resources.

Keywords: Industrial Management, Environmental Management, Data Analysis, Capitalism.
JEL Code: E23, K32, L16

^IUniversidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, México. Profesora-Investigadora. Doctora en Estudios Organizacionales por la Universidad Autónoma Metropolitana. Contacto: rriose@correo.xoc.uam.mx  0000-0002-8798-4190

^{II} Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa, México. Profesor-Investigador. Doctor en Ciencias Sociales en el Área de Economía y Gestión de la Innovación por la Universidad Autónoma Metropolitana. Contacto: jiponce@correo.xoc.uam.mx  0000-0001-8560-4556

^{III} Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México. Jefa del Departamento de Producción Económica. Doctora en Economía por la Universidad de Barcelona. Contacto: graci2992@gmail.com  0000-0001-8969-5096

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en el marco del desarrollo tecnológico se hacen presentes nuevas posibilidades de aplicación tecnológica las cuales han permitido a las empresas eficientar sus procesos y servicios, ejemplo de ello, es la incorporación de las tecnologías asociadas a la industria 4.0 como son el big data, la integración de sistemas horizontales y verticales, la realidad aumentada, la manufactura aditiva, la ciberseguridad, los sistemas autónomos, la simulación, el internet de las cosas, la computación en la nube, la impresión 3D, la inteligencia artificial, la computación cuántica, la nanotecnología, la neurotecnología, la robótica, la biotecnología, los sistemas dealmacenamiento de energía y el uso de los drones.

A las empresas que optan por la adopción de estas tecnologías se les ha denominado *organizaciones inteligentes* por la independencia que han ganado los procesos de trabajo con el uso de redes interconectadas de información; en forma particular, coexisten *procesos inteligentes*, los que en el ámbito de la producción industrial se le conoce como *smart manufacturing*. Al utilizar estas herramientas tecnológicas las empresas pueden optimizar sus operaciones y controlar mejor sus recursos (tiempo, dinero, materiales, conocimiento) de manera que, actualmente, las organizaciones están transitando de operaciones semidigitalizadas a una interconexión integral que les permite contar con un alto grado de planeación en las operaciones gracias al control de la información y con ello, los procesos operan de acuerdo a los estándares reduciendo errores en la transformación y evitando reprocesos.

El supuesto es que con la implementación de procedimientos más sofisticados como el Smart manufacturing es posible lograr una disminución en el consumo de materiales lo que implicaría un beneficio en el plano ambiental, afirmación que ponemos a discusión y que se intenta dar los argumentos primarios en este documento; el objetivo de este artículo es analizar y discutir la relación que tienen las tecnologías asociadas al smart manufacturing para conocer su impacto en los procesos industriales y sus posibilidades en la disminución de impactos ambientales.

En el primer apartado de este artículo se hizo una caracterización de las tecnologías asociadas a la industria 4.0; en la que se explica de qué manera el smart manufacturing se distingue por centrar su valor en el análisis y el procesamiento de datos.

En la segunda parte, se presentan los resultados de un análisis bibliométrico que se basó en dos criterios de búsqueda el primero, se refiere a los artículos que ofrecen información sobre la implementación del smart manufacturing en los procesos de fabricación destacando sus ventajas y limitaciones y, el segundo, se concentró en la indagación de artículos que propusieran el desarrollo de marcos analíticos en torno a la relación del smart manufacturing y la sustentabilidad. La justificación de esta exploración se hizo para conocer las aproximaciones sobre el tema y particularmente, para averiguar si existen datos concretos que reflejen la implementación del smart manufacturing. A partir de esta revisión, fue posible contar con elementos para



responder a la pregunta central que guía nuestra inquietud ¿El smart manufacturing es realmente una alternativa sustentable en los procesos de transformación industrial?

La intención final del documento es iniciar una discusión teórica en torno a la ideología que está detrás de la tecnología. Esta reflexión se considera necesaria para posicionarse críticamente sobre la intersección que existe entre la tecnología y la sustentabilidad en el contexto de las urgencias del cuidado y preservación de los recursos naturales.

La premisa de la que se parte es que la tecnología puede ofrecer soluciones innovadoras para mitigar problemas ambientales, pero también, conlleva riesgos significativos al potencializar la producción de productos; en este sentido, la disminución en el uso de los recursos se pone en duda, pues solo el hecho de producir genera impactos significativos para el ambiente, por ello, se destaca la importancia de ir construyendo una mirada más neutral y ética en la integración de la tecnología a los procesos de fabricación antes de dar por sentado que puede tener efectos solo positivos en el ambiente. De no hacer esta discusión, estaríamos posicionándonos ingenuamente en una perspectiva eficientista con tintes de preocupaciones por el medio ambiente y, reproduciendo el discurso del tecnocapitalismo (Suárez-Villa, 2009) el cual plantea que la tecnología está al servicio del capital, reafirmando la perspectiva marxista del fetichismo tecnológico que se entiende como “el proceso de dotar a determinado objeto características que no son propias de su naturaleza, de su esencia, de su constitución en tanto objeto” (Marx, 2010, p.89), la fetichización, para el caso de nuestra discusión, se instaura cuando suponemos que la tecnología tiene vida propia, y se deja de reconocer que es producto derivado un proceso de trabajo social; resultado de todo un entramado de acciones humanas situadas y con ciertos intereses que se desarrolla en un ambiente natural.

Hoy en día, existen alternativas que prometen la disminución del impacto ambiental, lo cierto es que muchas de ellas se instalan en la moda de la *industria verde* y disfrazan las intenciones de producción irracional de las empresas, por ello, al último apartado de este texto se le denominó – la compleja relación entre la tecnología y la sustentabilidad– para después plantear unas reflexiones finales que intentan continuar con la discusión entorno a los procesos tecnológicos.

MECANISMOS DE OPERACIÓN DEL SMART MANUFACTURING

Los problemas comunes en la gestión de la producción son, entre otros, la escasa planeación de la producción que involucra la determinación exacta de los materiales, las inconsistencias de la información de los inventarios, la selección de la maquinaria adecuada, la organización de los recursos humanos necesarios para el trabajo fabril, el monitoreo en tiempo real de los problemas suscitados en el proceso productivo y la falta de información sobre el desempeño de la producción; sus impactos generan reprocesos y retrabajos que implican un costo adicional en la producción, además, las empresas son más vulnerables ante los costos asociados al incumplimiento de la entrega de producción, el entorpecimiento ante el

desabasto de materiales en las cadenas de suministro y la puesta en riesgo del modelo de negocio.

Con o sin el uso de la tecnología la gestión de la producción debe planearse, controlarse, organizarse y dirigirse de manera integral y óptima; quizá, entonces este sea el punto crítico en donde la administración de operaciones encuentra sus principales inconsistencias, en otras palabras, los procesos productivos de las empresas fabriles son el punto vulnerable en donde la falta de estándares de control y seguimiento continuo genera costos visibles y costos ocultos como los reprocesos o los retrabajos (Krajewski, Ritzman y Malhotra, 2007).

Las tecnologías asociadas al Smart manufacturing son las herramientas de software como el diseño y manufactura asistida por computadora, los sistemas para la gestión del ciclo de vida de los productos y el uso de software de análisis, a través de su aplicación es posible representar digitalmente cada aspecto de la manufactura desde el diseño de un producto hasta el proceso mismo de la fabricación y manufactura (Dalton, 2005, Yzunza, Izar y Bocarando, 2017). Considerando lo anterior, es posible desagregar la función de la producción en actividades como el diseño, la fabricación, el monitoreo, el control, el modelado y la predicción. Estos autores proponen un marco de referencia para de aplicación de herramientas tecnológicas que inicia con el diseño y fabricación inteligente, en esta etapa se contempla la creación de prototipos inteligentes, los controladores y los sensores inteligentes que pasan por el monitoreo, la operacionalización y el control de la implementación de sensores generalizados para lograr una toma de decisiones a través de una recopilación de datos integral. Así, se puede señalar que punto distintivo del smart manufacturig se encuentra en el *análisis de datos*. El manejo de la gran cantidad de ellos es relevante para los sistemas de fabricación porque a partir de su análisis se pueden generar acciones preventivas antes de tener un impacto directo en la producción.

Los sistemas de fabricación inteligente generan grandes volúmenes de información para operar ambientes complejos de producción y así, son capaces de obtener datos, almacenarlos, procesar cálculos, reportar incidencias y tomar decisiones oportunas. Dalton, 2005, Yzunza, Izar y Bocarando, 2017, señalan que las máquinas inteligentes son tecnologías físicas y virtuales que se comunican e interactúan entre sí, haciendo uso de sistemas de almacenamiento, lecturas de códigos, sincronización de datos en tiempo real; todos posibilitados por la tecnología de la información.

En sentido estricto el smart manufacturing no usa insumos directos que abonen al consumo de materiales como si lo hace en la transformación industrial directa sino que opera fundamentalmente con el uso de datos, porque en su gran mayoría la tecnología se concentra en sistemas periféricos que los almacenan, tales como, las fibras ópticas, cámaras y dispositivos electrónicos como computadoras, tabletas, tableros de control digitales: quizá, entonces, este sea el punto ciego en donde no se hace visible la afectación de los residuos electrónicos y de todos los elementos periféricos que se utilizan para su operación, ejemplo de ello, son los aires acondicionados, lámparas, sistemas de energía de respaldo de información. Además, la rápida obsolescencia tecnológica y la huella de carbono asociada



con la producción de tecnología plantean interrogantes sobre la verdadera sostenibilidad del planeta a largo plazo, en este sentido Peña (2003) apunta lo siguiente:

“El rastro de dióxido de carbono se complica si se observa la huella de la construcción de las instalaciones o las cadenas de suministro de servidores, fuentes de alimentación y otros equipos de estas instalaciones. Por lo demás, los servidores, que son esencialmente discos duros apilados en filas, generan mucho calor y para enfriarlos se necesita una gran cantidad de energía. Así, se ha calculado que las emisiones globales de computación en la nube oscilan entre un 2,5% y un 3,7% de todas las emisiones globales de gases de efecto invernadero...” (p.48)

Si bien, existen datos que indican que el smart manufacturing puede contribuir a una reducción significativa de las emisiones de gas de efecto invernadero no hay que dejar de considerar el impacto de las emisiones asociadas con la producción y el mantenimiento de los equipos inteligentes, así como, el aumento en la demanda de energía para la operación de estos sistemas. El Smart manufacturing, en principio, puede llevar a un uso más eficiente de los recursos naturales y tiene la capacidad de prever fallos y optimizar el uso de materiales que pueden reducir la extracción y uso de recursos, sin embargo, la producción de dispositivos tecnológicos y sensores requiere minerales y metales particulares, cuyo suministro puede estar asociado con impactos ambientales negativos, como la minería y la contaminación de suelos y aguas, de esta forma se observa un desequilibrio entre sus efectos en el medio ambiente y los beneficios que ofrece.

Evidentemente el smart manufacturing, no es una ecotecnología per se, por eso, no se puede afirmar categóricamente que su uso reduce el impacto ambiental pues desde la lógica de la producción su finalidad no es la sustentabilidad sino la reducción de materiales en la producción; optimiza solo una parte de la producción, al hacer uso de los datos como fuente de decisiones operativas, por ejemplo al hacer prototipos digitalizados y no materiales pues el hecho de hacer una simulación física implica gastos y desperdicios de materiales, sin embargo, el smart manufacturing tiene un alcance situado en la empresa además de que su aplicación no se extiende a toda la cadena de suministro, en ese sentido, se puede considerar como un proceso tecnológico con impacto medio que puede eficientar el uso de materiales en la producción y no necesariamente se aplica en los procesos de embalaje, la distribución y post-consumo; así pues, reduce, pero no restaura, bajo la idea de tecnología ambiental regenerativa que propone Cardoso y Gouttefanjat (2022). Es así como llegamos a una primera conclusión, el smart manufacturing no es potencialmente un diferenciador ante la urgencia de la sustentabilidad.

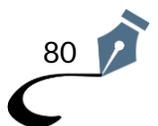
ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO DEL SMART MANUFACTURING

A continuación, se presentan los resultados de un análisis bibliométrico en el que principalmente se observó que hay un desarrollo cada vez más creciente de la literatura la cual señala que el uso de las tecnologías asociadas al smart manufacturing permiten conectar a todas las partes interesadas de las organizaciones, más allá de que se van

constituyendo como redes para la sostenibilidad y el crecimiento futuro. Los investigadores coinciden en que agentes como los inversionistas, los clientes, los medios de comunicación, los reguladores y hacedores de política, entre otros, presionan cada vez más a las empresas para que tengan en cuenta su impacto medioambiental e internalicen los costos modificando las características y procesos de sus productos de modo que sean más respetuosos con el medio ambiente.

Como primer criterio de análisis, en esta revisión bibliométrica, se hizo una selección de investigaciones que estaban orientadas a ubicar la relación del smart manufacturing con la sustentabilidad, ello dio como resultado lo siguiente:

- a. Que las industrias que aplican las tecnologías de la I4.0 tienen como interés principal responder a lo planteado a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas para el 2030, utilizando el progreso tecnológico con el fin de afrontar el reto de la transición de la tecnología tradicional a las máquinas inteligentes (Ghobakhloo, 2018);
- b. Con la aparición del Smart manufacturing se abre la oportunidad de conectar la tecnología con el uso adecuado de los recursos y de las capacidades tecnológicas en términos de beneficios para la sostenibilidad como son la neutralidad de los productos (impacto cero), menores costos y equidad social. Las industrias pueden reducir el impacto medioambiental de un producto, un proceso o un servicio basándose en la disponibilidad de datos de la huella de carbono y en análisis trazables (Khan, Razzaq, Yu, & Miller, 2021). Por lo tanto, el smart manufacturing parece ser una alternativa que contribuye a la sostenibilidad para desarrollar operaciones digitales sostenibles que permitan alcanzar las metas de los ODS de acuerdo con Khan, Razzaq, Yu, & Miller (2021) y Luthra & Mangla (2018).
- c. Los investigadores señalan que existen dos tecnologías inteligentes principales que pueden utilizarse directamente para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los procesos industriales, la primera de ellas es la transición a fuentes energéticas más limpias y renovables. Las tecnologías de electrificación autosustentables como la eólica y la solar puede reducir las emisiones de GEI y ofrecer una generación de energía flexible y no dependiente de recursos no renovables como el carbón o combustibles fósiles. Además, es ya sabido que resulta urgente encontrar energías alternativas a partir de fuentes renovables, como el hidrógeno y el bioetanol (Khan, Razzaq, Yu, & Miller, 2021).
- d. La segunda tecnología más utilizada en el smart manufacturing es el desarrollo de los sensores conectados a internet y las técnicas de internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) que proporcionan soluciones avanzadas de medición, mejoran sustancialmente el rendimiento de los sistemas de gestión de la energía. Algunas empresas han implantado un sistema de fabricación altamente digitalizado, que supervisa y controla la producción y el uso de la energía, proyectando una reducción

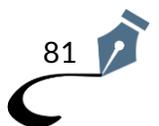


media del 20% en el consumo de energía por instalación industrial para el año 2035 (Xing, 2020).

Si bien, gran parte de literatura analizada coincide en que existen beneficios que se desprenden de nuevas prácticas innovadoras de los procesos basados en el smart manufacturing, pese a ello, también existen posturas críticas que señalan que la naturaleza tecnológica combinada con las fases relativamente tempranas del ciclo de vida de las tecnologías de la I4.0 implican y plantean varias preocupaciones, especialmente la naturaleza intensiva en la inversión en equipos necesarios para los procesos podrían no ser ambientalmente sustentables, por ejemplo, el aumento de los residuos eléctricos y del consumo de energía; cuestiones éticas entorno a la interacción humano-robot, amenazas de desempleo entre otros (Xu, Xu, & Li, 2018).

Un segundo criterio que se tomó para la revisión bibliográfica fue identificar investigaciones que identificaran posibles desventajas en la adopción del smart manufacturing (SM) y los resultados arrojaron lo siguiente:

- a. A pesar de las ventajas del SM, su adopción en las organizaciones puede ser lenta (sobre todo en las PYMEs). Ghobakhloo et al., (2018) mencionan que el Smart manufacturing implica diversas tecnologías que pueden ser complicadas de integrar en sistemas existentes como actualizar maquinaria para adaptarse a estas tecnologías puede ser costoso y complejo debido a la ausencia de protocolos estandarizados, que dificulta la interoperabilidad entre los distintos sistemas de producción existentes en cuestiones de principalmente de actualización tecnológica.
- b. En cuanto a la cadena de suministro, una de las principales críticas es que las grandes empresas trasnacionales avanzan más rápidamente en la adopción del SM, pero solo para cubrir la necesidad de un mayor apoyo y colaboración con compradores, vendedores de tecnología, instituciones de investigación y organizaciones de proveedores para aprovechar plenamente los beneficios potenciales del Smart manufacturing, autores como Mittal et al., (2020) mencionan que se esté fenómeno está creando una brecha entre las grandes empresas y las PYME's. La creación de colaboraciones con proveedores y compradores requiere tiempo y recursos, que estas empresas mencionadas a menudo no tienen, lo que les impide beneficiarse de estas tecnologías.
- c. Otro reto, es la falta de madurez tecnológica; Lu (2021) señala que muchas organizaciones dependen de procesos manuales y tienen una infraestructura de tecnología de innovación subdesarrollada, lo que dificulta la adopción de tecnologías avanzadas necesarias para el SM. Además, carecen de personal calificado para manejar los datos que estas tecnologías requieren, lo que complica la toma de decisiones informadas.
- d. Otro factor que se resalta en la literatura es la falta de apoyo financiero que limita la capacidad de las organizaciones para hacer inversiones necesarias en tecnologías



integradas al SM (Elnadi, & Abdallah, 2024). A las empresas pequeñas se les niega el acceso a créditos por su tamaño, así como la falta de una comprensión global de los beneficios esperados y del rendimiento de la inversión por parte de las entidades financieras, pues existe la percepción de que el SM es una apuesta riesgosa (Arcidiacono, & Schupp, 2024).

- e. El marco político es otro aspecto crítico pues aunque se han implementado iniciativas gubernamentales para fomentar la adopción del SM, la tasa de adopción sigue siendo baja. Esto se debe a una falta de políticas integrales y programas de entrenamiento adaptados a sus necesidades (Arcidiacono, & Schupp, 2024). Para enfrentar estos desafíos, se proponen estrategias como el reequipamiento de máquinas existentes con nuevas tecnologías, colaboración con plataformas de fabricantes de equipos originales para mejorar la digitalización y la utilización de datos de fabricación (Oztemel, & Gursev, 2020).
- f. La literatura confirma que el problema de mitigar los impactos ambientales implica un análisis multifactorial en donde la adopción del smart manufacturing y de sus prácticas para aminorar el impacto ambiental podría conducir a la creación de clústeres manufactureros localizados en regiones específicas, influyendo en la estructura medioambiental, económica y social de las comunidades y regiones. Los cambios en las prácticas de fabricación pueden repercutir en la identidad y las características culturales de las comunidades que históricamente han estado vinculadas a la fabricación tradicional, así como, a la sobre explotación de recursos renovables en los procesos de construcción de dichos clústeres (Bag, & Pretorius, 2022).

En síntesis, esta revisión da cuenta de que hace falta el desarrollo de marcos teóricos más amplios que complejicen el verdadero problema de las nuevas tecnologías y la sustentabilidad, a partir de la búsqueda bibliométrica percibimos que aún no se están haciendo análisis que den cuenta de los impactos concretos del smart manufacturing en la disminución de los recursos. Es quizá, en este punto en el que este artículo encuentre su aportación pues aunque la perspectiva de la implementación del smart manufacturing es viable y sus metas son de una importancia crucial, la realidad de alcanzar estos objetivos es mucho más compleja de lo que el marco idealista podría sugerir; la transición hacia prácticas más sostenibles a menudo enfrenta resistencias por parte de industrias establecidas y consumidores que priorizan la conveniencia de la producción en pro de la utilidad.

Las primeras reflexiones de esta revisión bibliográfica son que el smart manufacturing y su relación con la sustentabilidad está siendo considerado como un objeto de estudio actual, pese a ello, parecería que su implementación es un supuesto que se materializará en el futuro, que se pronostica como una posibilidad y no como un hecho, además, se confirma la perspectiva productivista de la tecnología en tanto que su discurso está basado en los indicadores más eficientistas como la mejora continua y la automatización en pro de la fabricación a gran escala.



A partir de esta primera revisión, en donde quizá aún no sean tan evidentes los impactos de la sustentabilidad con el uso de las tecnologías, a los autores nos permite hacer una reflexión primaria que exponemos a continuación.

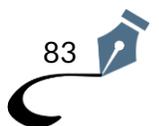
LA COMPLEJA RELACIÓN ENTRE TECNOLOGÍA Y SUSTENTABILIDAD

En la era moderna, el concepto de sostenibilidad se ha convertido en una preocupación global urgente; con el aumento de los problemas ambientales y la creciente presión sobre los recursos naturales, la tecnología ha surgido como una herramienta potencialmente poderosa para abordar estos desafíos. La alianza entre tecnología y la sustentabilidad es frágil principalmente en el esquema de producción infinita que promueve el sistema capitalista; a medida que la tecnología avanza como nunca se había vivido en la historia de la humanidad; surge la pregunta inevitable ¿la tecnología puede verdaderamente sostener y promover la sustentabilidad, o es un paliativo ante un sistema de producción que en sí mismo ya resulta insostenible? Las innovaciones tecnológicas prometen eficiencia y reducción de impactos negativos en los recursos naturales. Los avances en la inteligencia artificial, por ejemplo, permiten optimizar el uso de recursos a través de mejorar la planificación urbana para minimizar la huella ecológica, a pesar de sus ventajas, la dependencia excesiva de soluciones tecnológicas podría llevar a una respuesta paliativa frente a la urgencia de hacer cambios estructurales fundamentales en los sistemas económicos y sociales.

La mayoría de las posturas que apuestan al desarrollo e innovación tecnológica, por lo menos, desde la mejora de los procesos productivos, se apartan de la discusión de la ideología que está atrás del binomio tecnología y sustentabilidad, pero a partir de la perspectiva crítica si encontramos varios posicionamientos como el que discute Peña (2023) en su texto *Tecnologías para un planeta en llamas: Los peligros del tecnocapitalismo y la necesidad de una transición digital justa en la era de la crisis climática y ecológica* en el que una de sus críticas más fuertes la hace al *solucionismo tecnológico*, el cual propone reproducción del diseño de modelos simplistas en el que sigue predominando la lógica de la elección racional y la actuación de los ciudadanos como agentes sin identidad, sin historia y sin intenciones. Esto nos lleva a una verdad de perogrullo – el problema de la tecnología se resuelve con tecnología-.

Otros autores como Suárez Villa, 2009; Ilich, 2006 también cuestionan el uso de la tecnología argumentando que el propósito capitalista de acumulación de la riqueza se posibilita y reproduce por y con el uso de la tecnología. Peña señala que “El *tecnocapitalismo* no ha tardado en plantearse como natural ‘solucionador’ de la crisis climática y ecológica, sobre todo cuando el miedo y la perplejidad dominan a las sociedades que buscan respuestas rápidas ante problemas multisistémicos” (2003, p.16).

El contrasentido que se encuentra en este “capitalocentrismo” es que la tecnología es una promotora de la producción y su acción en pro de la sustentabilidad remedia en poco o en casi nada el impacto ambiental. En otro sentido, la apropiación social de las tecnologías no es tan sencillo, la tecnología es un recurso y en tanto recurso solo tiene acceso a ella quien



la puede adquirir; luego, la tecnología también traspasa por los límites del poder en tanto concentración de la riqueza, su contradicción no solo está en su uso sino en el efecto social que ella tiene, “La máquina no sólo imita e interviene la naturaleza para aprovecharse de sus recursos, sino que posee resonancias míticas e intangibles; sustenta conceptos sociales como la autoridad, riqueza o vanguardia y propicias distribuciones inequitativas de poder” (Caloca, 2023, p.52).

En ese sentido, es posible reflexionar en que la tecnología perpetua la desigualdad, aunque con la entrada de la industria 4.0 la tecnología abra su espectro y camine a al capitalismo digital (Schiller, 1990), la lógica de la reproducción del capital no es diferente pues continúa siendo la misma que en sistemas económicos anteriores. En ese sentido podemos encontrar que, aunque se nombren “nuevos paradigmas de producción” la esencia del sistema económico es la misma – la reproducción del capital-.

En el marco de la sustentabilidad y la fabricación industrial la hiperconectividad y el uso de los sistemas ciber físicos se ha posibilitado en gran medida por las tecnologías asociadas a la industria 4.0; su particularidad reside en que la fusión de los sistemas de fabricación virtuales y físicos cooperan de una manera flexible e hiperconectada en las cadenas productivas de todo el mundo.

Sin embargo, aun cuando es evidente el desarrollo en el diseño de los mecanismos tecnológicos, existen brechas que dificultan su implementación, en ese sentido, la tecnología alcanza sus límites en su adopción, creando una contradicción fundamental – la tecnología ha sido creada y puesta a disposición, pero su posibilidad de implementación es limitada. En cierto sentido, la tecnología también es un capital que tiene un valor de compra. La tecnología no es un bien es abstracto, es una mercancía convertida en insumo para la producción. De esta forma, se presenta un desafío importante para hacer converger los beneficios de la industria 4.0 con las limitaciones económicas y de modernización que las empresas que, hasta hoy, no los asumen como una realidad en su futuro inmediato.

CONCLUSIONES

Existen posicionamientos diversos que señalan que la industria 4.0 es la fuerza tecnológica del futuro, para algunos es un proyecto que aún está madurando y otros consideran que se está transitando a ella con una velocidad tal que es casi imperceptible. En lo expuesto en este documento y la producción académica que hasta ahora se tiene respecto a este tema, es indudable que la tecnología facilita toda la vida humana incluyendo la producción de satisfactores. Para los administradores y especialistas en los procesos productivos una de las principales preguntas que queda pendiente de resolver ante tal beneficio es ¿cuáles deben ser las condiciones que se tienen que generar para que las empresas puedan beneficiarse de la manufactura inteligente?

A partir de una primera revisión bibliográfica muy acotada que expusimos en este texto contamos con algunos argumentos para poder afirmar, que por ahora, el smart manufacturing aún no puede concretarse como una alternativa sustentable en los procesos



de transformación industrial, por lo menos, hasta que no se tengan las dos condiciones; la primera que se cuente con una implementación total en toda la cadena de suministro y la segunda, que a implementación del smart manufacturing presenta una huella ecológica mixta. Aunque ofrece oportunidades significativas para reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero, también introduce desafíos asociados con la producción y gestión de equipos tecnológicos.

Regresando a la preocupación inicial planteada al inicio de este artículo es crucial desarrollar tecnologías innovadoras, pero también se debe considerar cuidadosamente sus impactos sociales, ambientales y éticos. Si bien, la tecnología ofrece herramientas valiosas, su implementación debe estar acompañada de un análisis profundo de sus implicaciones a largo plazo, elemento que hasta el día de hoy no se encontró en la revisión de la literatura.

REFLEXIONES FINALES

Creemos que solo se puede avanzar en verdaderas alternativas sustentables, sin desenmarcarse de la crítica del uso de mecanismos, como lo son el uso de datos, que encuentra otras lógicas más sofisticadas para reproducir el capital. Por eso, a la tecnología per se no se le puede otorgar el valor del cuidado del medio ambiente. El discurso del tecnocapitalismo como lo señala Peña “no ha tardado en plantearse como el natural ‘solucionador’ de la crisis climática y ecológica, sobre todo cuando el miedo y la perplejidad dominan las sociedades que buscan respuestas rápidas ante problemas multisistémicos” (p. 16, 2023)

En ese sentido se pone en duda el criterio básico de sustentabilidad porque no cumple con su cometido a largo plazo. La tecnología no se construye colectivamente, sino particularmente, y en ese sentido resuelve problemas de la empresa, pero no de la humanidad: el objetivo sigue siendo el mismo -maximizar la productividad económica hasta llegar al límite de los recursos naturales-.

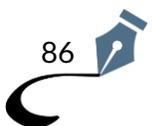
Teóricamente hace falta una visión sistémica que incluya a todos los actores clave, caminar desde la parcialidad no tiene un impacto significativo sobre un problema que es urgente para todos. Conviene ir recuperando la discusión ideológica sobre la cual se inserta los modelos aplicativos de la industria 4.0 toda vez que el paradigma acrítico de la sustentabilidad afirma que la tecnología es y está a favor del medio ambiente. Prácticamente, también hay que ir analizando casos de estudio concretos para confirmar las orientaciones que se están apuntando desde el análisis teórico, y así tener elementos de juicio más certeros sobre la relación tecnología y sustentabilidad.

Reflexionar sobre sus paradigmas es también una posición epistemológica que deja entrever las preguntas que se están respondiendo desde la academia ante la inevitable inserción de producción tecnologizada. La propuesta final es continuar con un cuestionamiento central para saber si tecnología pueden solucionar la crisis climática de alguna forma, indirectamente, tener impactos severos en el medio ambiente. 



REFERENCIAS

- Arcidiacono, F; & Schupp, F. (2024). Investigating the impact of smart manufacturing on firms' operational and financial performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 35(3), 458-479.
- Bag, S; & Pretorius, J. (2022). Relationships between industry 4.0, sustainable manufacturing and circular economy: proposal of a research framework. *International Journal of Organizational Analysis*, 30(4), 864-898.
- Caloca Lafont, E. (2023). La propuesta de Iván Illich: una filosofía crítica y radical de la tecnología. *Theoría. Revista Del Colegio De Filosofía*, (45), 49-72.
<https://doi.org/10.22201/ffyl.29544270e.2023.45.1822>
- Cardoso, I. & Gouttefanjat, F. (2022). Sustentabilidad, tecnología ambiental y regeneración ecosistémica: retos y perspectivas para la vida. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), 142-157. Epub 02 de abril de 2022. Recuperado en 14 de julio de 2024, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202022000200142&lng=es&tlng=es.
- Dalton, R. (2005). *The Move to Digital Manufacturing*. Software Solutions. Tooling & Production Magazine.
- Elnadi, M., & Abdallah, Y. O. (2024). Industry 4.0: critical investigations and synthesis of key findings. *Management Review Quarterly*, 74(2), 711-744.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of manufacturing technology management*, 29(6), 910-936.
- Khan, S., Razzaq, A., Yu, Z., & Miller, S. (2021). Retracted: Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategy for environmental sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 30(8), 4001-4014.
- Krajewski, Ritzman y Malhotra (2007). *Administración de Operaciones*. Ed. Prentice Hall.
- Lu, Y. (2021). The current status and developing trends of industry 4.0: A review. *Information Systems Frontiers*, 1-20.
- Luthra, S., & Mangla, S. K. (2018). Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. *Process safety and environmental protection* (117), 168-179.
- Marx, C. (1981). *El Capital* (Vol. 1). La Habana: Ciencias Sociales.
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of intelligent manufacturing*, 31(1), 127-182.



- Peña, P. (2023). Tecnología para un planeta en llamas. Los peligros del tecnocapitalismo y la necesidad de una transición digital justa en la era de la crisis climática y tecnológica. Paidós.
- Schiller, D. (1999). Digital Capitalism, Networking the Global Market System. California: The MIT Press
- Suárez-Villa, L. Technocapitalism: A Critical Perspective on Technological Innovation and Corporatism (Philadelphia: Temple University Press, 2009).
- Xing, L. (2020). Cascading failures in internet of things: review and perspectives on reliability and resilience. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(1), 44-64. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(1), 44-64.
- Xu, L., Xu, E., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, 56(8), 2941-2962.
- Ynzunza Cortés, C. B., Izar Landeta, J. M., Bocarando Chacón, J. G., Aguilar Pereyra, F., & Larios Osorio, M. (2017). *El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras*. *Conciencia Tecnológica*, (54).





Como citar:

Ríos Estrada, R. S., Ponce Sánchez, J. I., y Carrillo González, G. (2024) ¿El Smart manufacturing es realmente una alternativa sustentable en los procesos de transformación industrial? *Administración y Organizaciones*, 27 (Especial).

<https://doi.org/10.24275/SNXI3867>

Administración y Organizaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco se encuentra bajo una licencia Creative Commons. Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada 4.0 Internacional License.

