



## **SIMPOSIO INTERNACIONAL DE INDUSTRIA Y ENERGÍA**

### **Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

#### *Lean Manufacturing, Industry 4.0 and Sustainability: a literature review and future lines of research*

**Lisette Concepción Maure<sup>1</sup>, René Abreu Ledón<sup>2</sup>, Norge Isaías Coello Machado<sup>3</sup>, Félix Eduardo Sosa Rodríguez<sup>4</sup>**

1-Lisette Concepción Maure. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. E-mail: [lissette@uclv.cu](mailto:lissette@uclv.cu)

2- René Abreu Ledón. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. E-mail: [rabreu@uclv.edu.cu](mailto:rabreu@uclv.edu.cu)

3- Norge Isaías Coello Machado. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. E-mail: [norgec@uclv.edu.cu](mailto:norgec@uclv.edu.cu)

4- Félix Eduardo Sosa Rodríguez. Instituto Nacional de Reservas Estatales, Cuba. E-mail: [fsosa@gmail.com](mailto:fsosa@gmail.com)

**Resumen:** La Manufactura Esbelta se ha definido como un conjunto integrado de prácticas socio-técnicas diseñadas para eliminar el desperdicio a lo largo de toda la cadena de valor dentro y entre las empresas. Desde su introducción, el enfoque de esbeltez se ha expandido cada vez más en el campo de la gestión de operaciones hasta convertirse en una estrategia empresarial totalmente holística. Del mismo modo, la Industria 4.0 es uno de las concepciones más prometedoras para enfrentar los desafíos futuros en el entorno de producción. En la literatura se consideran dos enfoques complementarios sobre la integración de la Manufactura Esbelta y la Industria 4.0. El primero, se refiere a cómo los sistemas de fabricación ajustada establecidos tienen efectos facilitadores en las implementaciones de la Industria 4.0. El segundo, indica cómo las tecnologías de la Industria 4.0 pueden respaldar y desarrollar aún más las prácticas conocidas de Manufactura



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

Esbelta. Sin embargo, se han realizado pocos estudios que investiguen cómo estas herramientas deben integrarse para ofrecer un proceso de transformación optimizado y de alta calidad, aumentar la efectividad operativa y el desarrollo de modelos de negocios, así como la influencia de esta integración en los tres pilares principales de la sostenibilidad: económico, ambiental y social. El propósito de este trabajo es presentar una revisión y análisis de la literatura sobre la relación entre estos tres sistemas de gestión: Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad. Analizar las propuestas actuales y simultáneamente identificar las lagunas en la literatura existente y las direcciones de investigaciones futuras.

**Abstract:** Lean Manufacturing has been defined as an integrated set of socio-technical practices designed to eliminate waste along the whole of the value chain within and across companies. Since its introduction, the lean approach has increasingly expanded in the field of operations management until it has become a fully holistic business strategy. Similarly, Industry 4.0 is one of the most promising approaches to face future challenges in the production environment. Two complementary approaches are considered in the literature on the integration of Lean Manufacturing and Industry 4.0. The first, refers to how established lean manufacturing systems have facilitating effects on Industry 4.0 implementations. The second, indicate how Industry 4.0 technologies can support and further develop known practices of lean manufacturing. However, there have been few studies investigating how these tools should be integrated to offer a streamlined and high quality transformation process, increase operational effectiveness, and the development of completely new business models, and their respective influence on the three main pillars of sustainability: economic, environmental, and social. The purpose of this paper is to present a review and analysis of the literature on the relationship between these three management systems: lean manufacturing, industry 4.0 and sustainability. In particular, analyze current proposals and simultaneously identify gaps in the existing literature and future research directions.

**Palabras Clave:** (Manufactura Esbelta; Industria 4.0; Sostenibilidad; Revisión de la Literatura)

**Keywords:** (Lean Manufacturing; Industry 4.0; Sustainability; Literature Review).



## **1. Introducción**

Hoy en día, Manufactura Esbelta (ME), Industria (I4.0) y Sostenibilidad son preocupaciones importantes para las empresas y de manera general para la sociedad. Principalmente, la influencia de las dos filosofías de producción, ME e I4.0, en los tres pilares principales de la sostenibilidad: económico, ambiental y social.

Las empresas han adoptado numerosas metodologías para mejorar la gestión de sus operaciones, siendo la ME la más destacada (Holweg, 2007). Esta se basa en eliminar el desperdicio en todas sus formas al enfocarse en las actividades que crean valor para el cliente. Desde su introducción, se ha expandido en el campo de la gestión de operaciones, hasta convertirse en una estrategia totalmente holística (Camacho Miñano et al., 2013). Numerosas herramientas se han desarrollado para su implementación y otras que ya existían se han ubicado fácilmente dentro del universo de la ME. Por tanto, esta puede verse como una configuración de prácticas y herramientas donde se opera como un sistema estrechamente acoplado y los elementos están en constante interacción.

La creciente complejidad de las operaciones refleja una tendencia a la fusión de los sistemas productivos y las nuevas tecnologías, para el desarrollo de nuevos ecosistemas industriales. Este fenómeno se considera como una nueva revolución industrial (I4.0). La I4.0 promueve el desarrollo de un sistema holístico de TI, personas, máquinas y herramientas, debido a la convergencia del mundo físico y virtual en forma de sistemas ciberfísicos (CPS) (Blöchl y Schneider, 2016). Esto permite el flujo de bienes, servicios y datos de manera controlada, a través de la cadena de valor, con operaciones de alto grado de autonomía y capacidad para transmitir información.

Kupper et al. (2017) plantea que la I4.0 será el impulsor de innovación más poderoso en las próximas décadas. Sus características principales: modularidad, interoperabilidad, virtualización, descentralización, gestión en tiempo real, orientación al servicio e integración de los sistemas de producción y los sistemas de información, se consideran la respuesta a los desafíos actuales.

Una encuesta a nivel mundial realizada por el Grupo Consultor de Boston (BGC) reflejó que las empresas industriales líderes reconocen la importancia de la ME y la digitalización en su planificación. De un total de 750 gerentes de producción, el 30% de los encuestados expresaron que la gestión eficiente sería muy relevante en 2030, en comparación con el 70% que señaló que es



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

importante hoy en día. Entre estos el 70% expuso que la digitalización de la planta sería muy relevante en 2030, en comparación con el 13% que la considera importante en la actualidad.

En cuanto a la relación entre la ME y la I4.0 Buer et al. (2018) expone dos enfoques complementarios que han sido abordados en la literatura. El primero, se refiere a como los sistemas de ME establecidos han facilitado los efectos de la implementación de la I4.0. El segundo, indica como los habilitadores tecnológicos de la I4.0 pueden soportar y desarrollar aún más las prácticas implementadas de ME. Sin embargo, existen pocos estudios sobre cómo estas herramientas pueden aplicarse integradamente para ofrecer un proceso de transformación funcional y de alta calidad.

Del mismo modo es necesario analizar que un nuevo modelo económico de producción y consumo sería insostenible si no se tienen en cuenta las consideraciones medioambientales, no sólo como un factor restrictivo, sino como un incentivo para aumentar la eficacia y la competitividad, siendo a su vez socialmente responsable y económicamente viable. La literatura refleja la importancia concebida a estas tres temáticas (ME, I4.0, Sostenibilidad), pero el conocimiento de cómo estas deben integrarse y la implicación de las primeras en la consecución de la sostenibilidad es todavía incipiente (Varela et al., 2019).

El propósito de este trabajo es analizar la relación entre estas tres filosofías de gestión: ME, I4.0 y Sostenibilidad. En particular, analizar las propuestas actuales e identificar simultáneamente las lagunas en la literatura existente y las direcciones de investigación futuras.

El artículo está estructurado en tres secciones. Después de esta introducción (Sección 1), en la Sección 2 se ofrece una breve revisión de la literatura sobre ME, I4.0 y sostenibilidad, relaciones existentes e influencia de la ME e I4.0 en cada dimensión de la sostenibilidad. La Sección 3 se muestra un modelo conceptual que organiza el estudio de esta temática, además se identifican futuras líneas de investigación. Las principales conclusiones se presentan en la Sección 4.

## **2. Metodología**

### **2.1 Manufactura Esbelta**

Una revisión de la literatura sobre la ME evidencia la falta de claridad conceptual, a partir de la multiplicidad de descripciones y términos utilizados. Un análisis de las similitudes entre los términos existentes permite definirla como un conjunto integrado de prácticas socio-técnicas diseñado para eliminar desperdicios a lo largo de la cadena de valor dentro y entre empresas.



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

Bhamu y Singh Sangwan (2014) manifiestan que no existen herramientas ni marcos de implementación dedicados específicamente a la ME, sino que la mayoría son herramientas maduras e independientes. Shah y Ward (2007), desde una perspectiva evolutiva, agrupan las prácticas de ME en tres constructos subyacentes: relaciones externas (con los proveedores y con los clientes) y relaciones internas. A su vez, delimitan diez componentes operacionales y 41 medidas para representar el espacio operacional que rodea la producción esbelta.

Un sistema esbelto se debe diseñar a partir de la interacción de sus elementos tomados como un todo. Este funcionara como un sistema estrechamente acoplado donde los elementos constituyentes se mantienen unidos en dependencia mutua. Los efectos autorreforzantes de este tipo de dependencia son los que contribuyen a lograr un rendimiento superior, y a su vez hacen que sea valioso y difícil de imitar por los competidores (Shah y Ward, 2003). No debe obviarse el enfoque cultural, los principios de gestión y los empleados como tomadores de decisiones y transformadores de la organización.

Las diferentes características que poseen las industrias pueden influir tanto en el grado de implementación de las prácticas de ME como en su impacto en el desempeño del negocio López Negro et al. (2017). Es decir que se considera el contexto geográfico como un ente moderador y los rendimientos como una variable de resultado.

Con el aumento de la conciencia ambiental y social, la definición de ME se ha ampliado para incorporar conceptos de sostenibilidad económica, social y ambiental. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos [10] incluyó entre los objetivos de la ME el respeto a la sociedad y el medio ambiente.

## 2.2 Industria 4.0

A diferencia de las tres revoluciones industriales precedentes, la I4.0 es la primera que se anuncia a priori. Aunque esto brinda una excelente oportunidad para optimizar las soluciones antes de que se publiquen por completo, la falta de datos empíricos hace que la investigación sea altamente teórica y existan desacuerdos en la literatura (Buer et al., 2018).

Simonis et al. (2016) y Moreno et al. (2017) definen la I4.0 como la integración de maquinaria y dispositivos complejos, con redes de software y sensores, utilizadas para predecir, controlar, mejorar el negocio y su impacto en la sociedad. Prause y Weigand (2016) la consideran como el nuevo nivel



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

de organización y gestión de la cadena de valor a lo largo del ciclo de vida del producto. Qin et al. (2016) alegan que es un sistema holístico de TI, personas, máquinas y herramientas, que permite el flujo de bienes, servicios y datos de una manera controlada, a través de la cadena de valor, con operaciones de un alto grado de autonomía y capacidad para transmitir información útil en la toma de decisiones.

Hermann et al. (2016) a través de un análisis bibliográfico, identifican cuatro principios de diseño sobre cómo concebir la I4.0: interconexión, transparencia informativa, decisiones descentralizadas y asistencia técnica. Entre los habilitadores digitales más reconocidos definen: simulación, fabricación aditiva, integración de sistemas (horizontal, vertical y de principio a fin), ciberseguridad, realidad virtual y aumentada, big data y analítica de datos, internet industrial de las cosas, computación en la nube, sistemas ciberfísicos y robótica.

La convergencia de todas estas tecnologías permitirá que en el futuro la producción industrial se caracterice por una manufactura altamente flexible. Esto facilitará una fuerte individualización de los productos cuya optimización en los procesos le agregue valor, además de una gran integración entre clientes y socios de negocios. La situación dará como resultado una estrecha vinculación entre la producción de bienes y la generación de servicios de alta calidad, hecho que conducirá a la fabricación de los denominados productos híbridos. Pérez Peláez (2019) plantea que la I4.0 no solo es la introducción de tecnologías en el sistema productivo o administrativo, sino que también promueve un cambio en la forma de dirigir las empresas, apuesta por la innovación y la necesidad de compartir y aumentar el flujo de información, comienzan con la introducción de metodologías ágiles nuevas formas de trabajo.

### 2.3. Manufactura Sostenible

La manufactura sostenible se puede definir como la integración de procesos y sistemas capaces de producir productos y servicios de alta calidad utilizando recursos sostenibles, siendo más seguros para los empleados, clientes y comunidades circundantes, y capaces de mitigar los efectos ambientales y sociales a lo largo de todo su ciclo de vida (Bonvoisin et al., 2017 y EPA, 2018).

Los autores Bonvoisin et al., (2017) definen el alcance de una producción sostenible en cuatro áreas con sus respectivos objetos y disciplinas aplicadas:



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

- Tecnologías de fabricación (cómo se fabrican las cosas) con especial atención a los procesos y equipos (máquina-herramienta, instalaciones);
- Ciclos de vida del producto (lo que se va a producir) con enfoque en el diseño de productos y servicios;
- Redes de creación de valor (contexto organizacional) con enfoque en organizaciones de empresas y redes de fabricación;
- Impactos globales de la fabricación (mecanismos de transición hacia la fabricación sostenible) con enfoque en estudios sobre los impactos de la fabricación en el mundo, incluida la sociedad, el medio ambiente y la economía.

Diferentes aspectos pueden contribuir a una implementación positiva de la estrategia de fabricación sostenible, entre otros, el desarrollo de indicadores, políticas y procedimientos de sostenibilidad, la cultura de la empresa y las condiciones internas para la sostenibilidad, las estrategias de diseño sostenible y el compromiso de las partes interesadas con la sostenibilidad y las tecnologías.

Como se puede apreciar, estamos ante una nueva etapa de desarrollo industrial, que contempla los clásicos modelos de gestión y las nuevas tecnologías. Esto abre una gran oportunidad para la creación de valor industrial sostenible a partir de la perspectiva más completa de la sostenibilidad. La figura 1 resume los principales enfoques de sostenibilidad lo largo del tiempo.

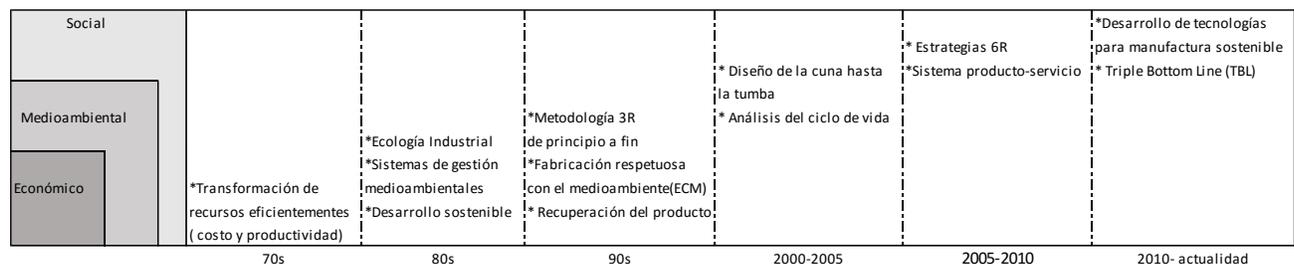


Figura 1. Principales enfoques de fabricación sostenible a lo largo del tiempo. Fuente: Srtal et al., (2020).

#### 2.4. Interrelación entre la Manufactura Esbelta y la Industria 4.0. Impacto en la Sostenibilidad

La transformación digital no solo ha cambiado la forma en que opera una organización, sino también el mercado. El poder de I4.0 no se materializará como una revolución industrial si no se integra en el marco teórico de la ME (Pereira et al., 2019).

Buer et al. (2018) basado en una revisión de la literatura describe un marco conceptual sobre las relaciones que existen entre la ME, la I4.0, el rendimiento y los factores ambientales. Este sintetiza



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

las investigaciones precedentes en función de: a) las tecnologías de la I4.0 pueden apoyar y desarrollar aún más las prácticas de ME, b) los sistemas de ME establecidos ejercen efectos facilitadores en las implementaciones de la I4.0, c) los cambios impuestos al sistema de producción por la integración de la ME y la I4.0 afectan diferentes dimensiones de rendimiento del sistema, y d) con base en estudios similares, los factores ambientales pueden influir en el potencial para integrar la ME y la I4.0, así como el rendimiento resultante de tal integración.

La interacción ME-I4.0 conduce a un enfoque más actualizado en el cual las TI pueden convertirse en elementos habilitadores en la implementación y contrarrestar con las barreras existentes. Una extensa revisión de la literatura, centrada en la interrelación entre las herramientas lean y los habilitadores tecnológicos permitió construir la matriz de interrelación mostrada en la (tabla 1).

Tabla 1. Interrelación entre los habilitadores tecnológicos y las herramientas de ME.

Habilitadores \ Herramientas	Big Data y analítica de datos	Sensores y sistemas embebidos	Fabricación aditiva	CPS y robótica	Realidad virtual y aumentada	Internet de las cosas	Nube	Plataformas interactivas	Simulación	Sistemas de integración	Tecnologías de identificación automática
VSM											
Kaizen											
Gestión visual											
Andon											
5S											
JIT											
Kanban											
Sistemas pull											
Takt time											
Heijunka											
Jidoka											
Poka-Yoke											
TQM											
SPC											
Seis Sigma											
TPM											
Flujo continuo											
HRM											
SMED											
Células de trabajo											
KPI											
Estandarización											

Fuente: Elaboración propia. Basada en: Sanders et al. (2016), Ruiz et al. (2018), Mayr et al. (2018), Pereira et al. (2019).

La productividad y el ahorro de costes son necesarios para la supervivencia económica de las organizaciones. Sin embargo, estas tareas deben lograrse de manera sostenible, mitigando los impactos ambientales y sociales negativos.

Una revisión de la literatura realizada por (Varela et al., 2019) evidencia como la ME impacta positivamente en el desempeño empresarial a nivel agregado, así como en el desempeño del



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

mercado individualmente. Sin embargo, estos efectos son muy variables. Por lo tanto, esta alta variabilidad ofrece grandes oportunidades para una mayor investigación sobre las posibles variables moderadoras que pueden afectar estas relaciones. Los autores King et al. (2001) establecen un vínculo entre lean y green mostrando que los adoptantes de los principios de ME tienen más probabilidades de adoptar también las normas medioambientales ISO 14000.

Por otra parte, se evidencia que después de la introducción de la Industria 4.0 y la creciente tendencia a la digitalización, hay más datos disponibles en los campos del diseño de productos / procesos, control de calidad y monitoreo de condiciones (Gupta, 2019). Aunque la I4.0 es un paradigma dirigido a la rápida capacidad de respuesta a la competencia del mercado y la satisfacción del cliente, la mejora de la sostenibilidad tiene un gran potencial que está recibiendo más atención. Esto se interpreta principalmente en la creación de valor sostenible. Para el producto, el ciclo cerrado del ciclo de vida se reconoce cuidadosamente, y para los procesos, la eficiencia de los recursos se discute desde una perspectiva holística. A mayor escala, las tecnologías digitales maduras ayudan a la conversión a la economía circular mediante la reducción de la sobreproducción, el consumo de energía y el desperdicio.

La Tabla 2 muestra las principales contribuciones de la ME y la I4.0 por cada una de las dimensiones de la sostenibilidad, según (Varela et al., 2019).

Tabla 2. Influencia de la ME y la I4.0 en las dimensiones de la sostenibilidad.

<b>Dimensión</b>	<b>Influencia de la ME</b>	<b>Influencia de la I4.0</b>
<b>Ecnómica</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aumentar las ganancias</li><li>• Incrementar la rotación</li><li>• Incrementar la participación de mercado de los productos.</li><li>• Disminuir los costos operativos</li><li>• Incrementar el desempeño del proceso</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incremento: beneficios, creación de valor, eficiencia, flexibilidad y competitividad</li><li>• Aumente la facturación y creación de nuevos modelos de negocio</li><li>• Mejorar: participación de mercado de los productos, cadenas de suministro y su desempeño gerencial y seguridad</li><li>• Disminuir los costos operativos</li><li>• Mejorar el rendimiento de los procesos, aumentar los recursos renovables y mejorar la economía circular</li></ul>



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

---

<b>Social</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incrementar el número de empleados</li><li>• Incrementar la retribución salarial</li><li>• Incrementar la calidad de las condiciones laborales</li><li>• Incrementar las condiciones de la sociedad circundante.</li><li>• Disminuir los accidentes laborales</li><li>• Incrementar la participación de sus empleados en la toma de decisiones.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incrementar el número de empleados</li><li>• Mejorar las condiciones laborales.</li><li>• Mejorar las condiciones de la sociedad circundante.</li><li>• Disminuir los accidentes laborales</li><li>• Incrementar la participación de los empleados en toma de decisiones</li><li>• Aumentar la duración del contrato del empleado y colaboración entre las partes interesadas</li></ul>
<b>Ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Disminuir los residuos industriales</li><li>• Disminuir el consumo de energía de fuentes de energía no renovables</li><li>• Incrementar la producción de energía renovadora</li><li>• Incrementar la práctica de economía circular</li><li>• Incrementar la colaboración con socios que siguen buenas prácticas ambientales</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Disminuir los residuos industriales</li><li>• Disminuir el consumo de energía de fuentes de energía no renovables</li><li>• Incrementar la producción de energía renovadora</li><li>• Incrementar la práctica de economía circular</li><li>• Incrementar la colaboración con socios que sigan buenas prácticas ambientales.</li><li>• Disminuir el consumo de recursos, el calentamiento global, los cambios climáticos, y requerimientos energéticos</li></ul>

---

### 3. Resultados y discusión

El principal punto de interés de este artículo es analizar el vínculo entre I4.0 y LM, así como examinar sus implicaciones en la sostenibilidad y los factores externos que influyen en estas relaciones. Por tanto, el último paso es desarrollar un modelo conceptual que explique los principales constructos y las relaciones entre ellos.

El modelo propuesto (Figura 2) ilustra los diferentes lentes teóricos con respecto a estas relaciones y establece una estructura para resumir los hallazgos de la literatura presentada en la sección 2.

En su presentación gráfica, el modelo conceptual manifiesta que el entorno es un ente moderador en el potencial para integrar la ME y la I4.0, así como el impacto resultante de tal integración en la sostenibilidad empresarial. El éxito de la ejecución de cualquier práctica de gestión está estrechamente relacionado con el contexto socio económico donde se desarrolle (país, sector empresarial, cadena de suministro) que casuísticamente pueden influir en mayor o menor grado, de manera diferenciada sobre y hacia el interior de cada empresa analizada. Por ello cualquier solución de carácter general requiere de un abordaje específico que lo complemente en pos de su pertinencia.



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

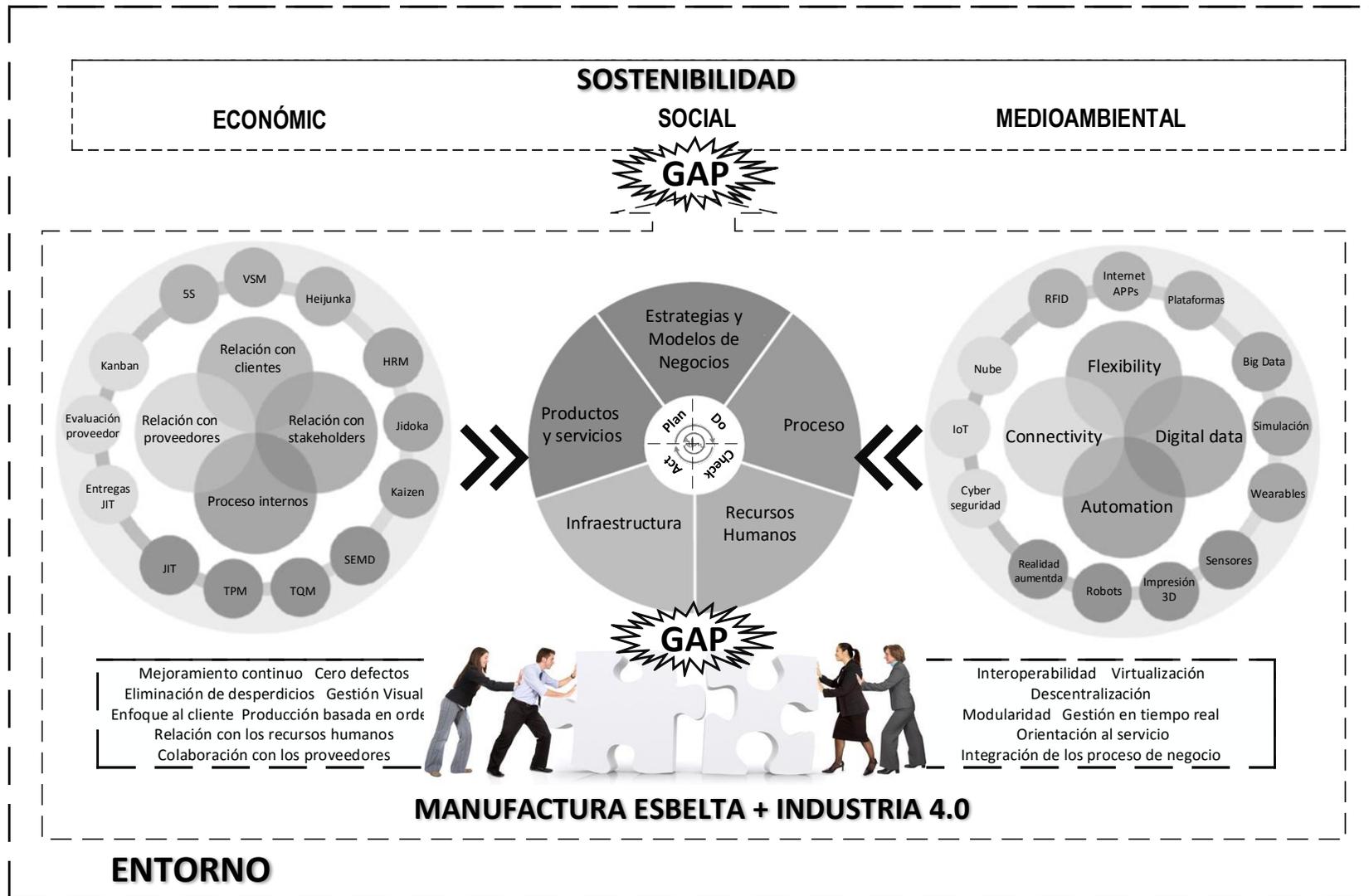
El segmento central del modelo muestra uno de los problemas a resolver (GAP) en la literatura y que en lo fundamental se enfoca en dirigir la aplicación integrada de la ME y la I4.0. Esta integración permitirá que los habilitadores tecnológicos apoyen y desarrollen aún más las prácticas de ME y su vez estas ejerzan efectos facilitadores en la implementación de la I4.0. Esta integración parte de instituir en la organización los pilares de ambas filosofías de trabajo generando sobre sus bases nuevos modelos de negocio.

Como núcleo central del modelo conceptual se representan cinco puntos estratégicos a analizar para evaluar, implementar y mantener un proyecto de transformación: estrategia y modelo de negocio, procesos, organización y recursos humanos, infraestructuras, productos y servicios. Los dos círculos influyentes sobre el núcleo central representan las prácticas lean (izquierda) y los habilitadores tecnológicos de la I4.0 (derecha). Ambos se han representado de forma interrelacionadas porque la implementación de una práctica de ME o un habilitador tecnológico (I4.0) no es simplemente la suma de los resultados de cada uno de ellos. Por el contrario, estos se deben complementar y funcionar de forma sinérgica para crear un sistema racionalizado y de alta calidad que aumenta los beneficios de la empresa. Esto ayuda a explicar cómo se diseña un sistema esbelto a partir de la interacción de sus elementos constituyentes tomados como un todo, en lugar de diseñar el sistema un elemento a la vez. Al centro del modelo e inscrito en el núcleo central, se refleja la necesidad de una interrelación permanente entre los modelos de producción esbeltos y las TI. A su vez y en su lógica interna de ejecución, esta interacción debe ocurrir en un ambiente de mejora continua, soportada en las cuatro etapas del denominado ciclo Deming (Planear-Hacer-Verificar-Actuar o P-D-C-A por sus en inglés).

En el modelo también se ha representado un GAP existente en los estudios precedentes: ¿cómo medir el impacto de los cambios impuestos al sistema de producción por la integración de la ME y la I4.0 en las diferentes dimensiones de la sostenibilidad?



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**



**Figura 2.1.** Modelo conceptual para la aplicación integrada de la ME y la I4.0



Sobre la base de estos resultados, se identificaron oportunidades para investigaciones futuras:

- (1) Validación empírica de las sinergias propuestas entre la ME y I4.0: dado que nuestro estudio expone posibles relaciones entre las herramientas lean y los habilitadores tecnológicos, basados en una revisión sistemática de la literatura, aún debe abordarse una validación empírica de esas relaciones. Tal análisis realmente podría verificar la existencia de esas sinergias y cuantificar mejor sus niveles de intensidad. Por lo tanto, los estudios que realicen una investigación intersectorial basada en encuestas podrían proporcionar argumentos más sólidos sobre tales relaciones.
- (2) Categorización de tecnologías I4.0 y ME en diferentes niveles de flujo de valor: a diferencia de la literatura sobre ME, el cuerpo de conocimiento sobre I4.0 es significativamente más reciente e incipiente. Este hecho indica que aún queda mucho por investigar para tener una comprensión más clara de los beneficios potenciales de I4.0. Los estudios futuros podrían aclarar e indicar mejor cómo esta relación puede impactar a toda la organización, distinguiendo sus efectos en todos los niveles del flujo de valor (es decir, intracelular, macroprocesos y niveles de la cadena de suministro).
- (3) Cuantificación de los efectos de la relación entre I4.0 y ME sobre la sostenibilidad. Tal expansión podría contribuir a la confirmación y generalización de los beneficios reales de esta relación sobre una manufactura sostenible.
- (4) Confirmación sobre el papel moderador del entorno en la implantación de las filosofías de ME e I4.0, así como su impacto en la sostenibilidad. Comparación de los resultados entre economías desarrolladas, emergentes y subdesarrolladas.

#### **4. Conclusiones**

En conclusión, los hallazgos de la literatura se clasifican en cuatro corrientes de investigación: (1) ME soporta I4.0, (2) I4.0 soporta ME, (3) implicaciones de una integración ME e I4.0 en la sostenibilidad, y (4) el efecto de factores del entorno en una integración ME e I4.0. De los hallazgos se desprende claramente que esta área aún es inmadura, aparentemente sin una plataforma común de conocimiento sobre la cual construir la investigación.

El modelo conceptual, en su presentación gráfica, considera al entorno como un ente moderador en la potencialidad de integrar ME e I4.0, así como el impacto que dicha integración tiene sobre la sustentabilidad. Esta propuesta ilustra los diferentes lentes teóricos sobre estas relaciones y establece una estructura para resumir los hallazgos de la literatura.



## 5. Referencias bibliográficas

1. Bhamu, J. y Singh-Sangwan, K. (2014). Lean Manufacturing: revisión de literatura y temas de investigación. *International Journal of Operations & Production Management*, 34, 876 - 940.
2. Blöchl, S. y Schneider, M. (2016). Simulation game for intelligent production logistics – The PuLL@ Learning Factory. *Procedia CIRP*, 54, 130-135.
3. Bonvoisin, J; Stark, R.G; Seliger, G. (2017): Field of research in sustainable manufacturing. In book: *Sustainable Manufacturing*. 3-20.
4. Buer, S., Strandhagen, J. y Chan, F. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924-2940.
5. Camacho Miñano, M., Moyano Fuente, J. y Sacristán Díaz, M. (2013). What can we learn from the evolutions of research on lean management assessment? *International Journal of Production Research*, 51, 1098-1116
6. EPA. (2018): Sustainable Manufacturing <https://www.epa.gov/sustainability/sustainable-manufacturing>
7. Ereira, A., Dinis-Carvalho, J., Alves, A. y Arezes, P. (2019). How Industry 4.0 Can Enhance Lean Practices. *FME Transactions*, 47, 810-822.
8. Herbst-Damn, K. L. y Kulik, J. A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. doi:10.1037/0278-6133.24.2.225.
9. Hermann, M., Pentek, T. y Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. *49th Hawaii international conference on system sciences (IEEE)*.
10. Holweg, M. (2007). The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, 25, 420-437.
11. King, A.A; Lenox, M.J. (2001): Lean and Green? An empirical examination of the relationship between Lean Production and Environmental Performance. *Production and Operation Management*. 10, 244-256.
12. Kupper, D., Heidemann, A., Strohle, D., Spindelndreier, D. y Knizek, C. (2017). When lean meets Industry 4.0: the next level of operational excellence. BCG. [www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0](http://www.bcg.com/publications/2017/lean-meets-industry-4.0)
13. López Negro, L., Godinho Filho, M. y Marodin, G. (2017). Lean practices and their effect on performance: a literature review. *Production Planning & Control*. 10, 36-55
14. Mayr, A., Weigelt, M., Kuhl, A., Grimm, S., Erll, A., Potzel, M. y Franke, J. (2018). Lean 4.0 - A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. *51st CIRP Conference on Manufacturing Systems*. Nuremberg, Germany: Procedia CIRP.



**Simposio Internacional de Industria y Energía. Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**Manufactura Esbelta, Industria 4.0 y Sostenibilidad: revisión de la literatura y futuras líneas de investigación**

15. Moreno, A., Velez, G., Ardanza, A., Barandiaran, I., De Infante, A. y Chopitea, R. (2017). Virtualisation process of a sheet metal punching machine within the industry 4.0 vision. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (Springer)* 11(2), 365–373.
16. Pérez Peláez, A. (2019). Modelo Metodológico de Implementación Lean Digital Industria 4.0. *Máster Universitario en Ingeniería Industrial, Escuela Politecnica de Ingeniería de Gijón*.
17. Prause, M. y Weigand, J. (2016). Industry 4.0 and object-oriented development: incremental and architectural change. *Journal Technological Management Innovation*, 11(2), 104–110
18. Qin, J., Liu, Y. & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Proced CIRP (Elsevier)*, 52, 173–178.
19. Ruiz, F., Caro, E. y Navarro, J. (2018). La transformación digital de los sistemas lean a través de la industria 4.0: un caso práctico. *Economía industrial*, 409, 25-35.
20. Sanders, A., Elangeswaran, C. y Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering Management*, 9, 811-833.
21. Sartal, A., Bellas, R., Mejías, A., y García-Collado, A. (2020) The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 4.0: A literature review. *Advances in Mechanical Engineering* 12(5) 1–17.
22. Shah, R. y Ward, P. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of Operations Management*, 21, 129-149.
23. Shah, R. y Ward, P. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25, 785–805.
24. Shivam Gupta, Sachin Modgil y Angappa Gunasekaran (2019): Big data in lean six sigma: una revisión y nuevas direcciones de investigación, *International Journal of Production*, 1, 2-24.
25. Simonis, K., Gloy, Y. y Gries, T. (2016). Industrie 4.0—automation in weft knitting technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (IOP Publishing)* 141(1), 12-14.
26. Varela, L. Araújo, A., Ávila, P., Castro, H. y Putnik, G. (2019). Evaluation of the Relation between Lean Manufacturing, Industry 4.0, and Sustainability. *Sustainability*, 11, 1439.