APLICACIÓN DE HOJA DE RUTA BAJO ECONOMÍA CIRCULAR EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA: CASO MÉXICO

Flores Galindo, Diana[1], Gil Herrera, Richard de Jesús[2]
(UNADE-México, diana.floresg04@gmail.com)[1], (UNIR-Spain, richard.dejesus@unir.net)[2]

Área de participación: **Ingeniería Industrial**

Resumen

Aún en este siglo, en México pequeñas y medianas empresas no han incorporado conceptos como manufactura esbelta, industria 4.0, industria 5.0 o economía circular. En México, se han realizado proyectos para incorporar conceptos como la Economía Circular en diversos sectores. En este artículo, se muestra una compilación de marco teórico base, los estudios previos encontrados, a nivel mundial y en México, así como una propuesta para la incorporación de manera estructurada como una hoja de ruta. Dentro de la parte experimental, se muestran los resultados de una primera fase de incorporación en una empresa en México, dedicada a la fabricación de componentes metal mecánicos. Se enlistan los beneficios y las barreras encontradas en la aplicación del primer modelo.

Palabras clave: *Economía Circular, Manufactura Esbelta, Industria 5.0, Despliegue Estratégico.*

Abstract

Even in this century, in Mexico small and medium-sized companies have not incorporated concepts such as lean manufacturing, industry 4.0, industry 5.0 or circular economy. In Mexico, there are projects to incorporate concepts such as the Circular Economy in various sectors. This article presents a compilation of the basic theoretical framework, the previous studies found, worldwide and in Mexico, as well as a proposal for incorporation in a structured way as a roadmap. Within the experimental part, the results of a first phase of incorporation in a company in Mexico, dedicated to the manufacture of metal-mechanical components, are shown. The benefits and barriers found in the application of the first model are listed.

Key words: *Circular Economy, Lean Manufacturing, Industry 5.0, Strategy Deployment.*

Introducción

Dentro de la naturaleza de todas las empresas, se busca orquestar todos sus recursos para lograr sus metas, estas dependerán del giro y la naturaleza de cada una con la que se haya establecido. Para lograr dichos objetivos existen diversas herramientas de gestión, optimización y también de desarrollo tecnológico. Hoy en día, el tomar en cuenta un desarrollo holístico de la compañía implica el incluir las vertientes social y ambiental. En México, aún hay empresas en las que conceptos como Manufactura Esbelta (ME), Industria 4.0 (I4.0) y también ya Industria 5.0 (I5.0) no se encuentran dentro de sus operaciones cotidianas. Hablar de conceptos y principios de Economía Circular (EC) no fungen como prioridades. Se encontraron muy pocos casos de estudio en México, dentro de los cuales no hay evidencia de despliegue en el sector metal mecánico.

El objetivo principal de este artículo consiste en establecer los pasos básicos para la incorporación de un mapeo holístico, que incluya los indicadores clave de desempeño propios del negocio, que

pueda ser aplicable en cualquier pequeña y mediana empresa (PyME) en México y en cualquier parte del mundo.

Los objetivos específicos son los siguientes:

1. Reunir los conceptos.
2. Revisar la propuesta metodológica.
3. Analizar un caso de implementación.
4. Formular siguientes pasos de acuerdo a los resultados.

Marco referencial

Conceptos clave, marco referencial

Manufactura Esbelta

Lean Manufacturing (LM) se caracteriza por la eliminación de desperdicios, la estandarización de procesos y el enfoque en el cliente, todo esto mediante la colaboración de los empleados [1]**.** Aspectos culturales que caracterizan la metodología de LM son pensamiento a largo plazo, respeto por las personas, retar el proceso actual constantemente, un gran enfoque en la solución de problemas, la mejora continua y el aprendizaje constante [2]**.** Todo esto se puede aplicar no solo a la parte operacional, sino también a la parte administrativa, esto es conocido como gestión lean o lean Management. Esta metodología tiene sus principios en la industria automotriz, pero se tiene una gran cantidad de historias de éxito en diversos sectores industriales [3]**.** Las actividades llamadas "desperdicios" son todas aquellas que no agregan valor. Dentro de esta metodología, existen algunas herramientas que la caracterizan, por ejemplo el mapeo de la cadena de valor o Value Stream Mapping (VSM), las metodología de las 5S, la identificación de los 7 + 1 desperdicios, siempre con la finalidad de eliminación de lo que no agregue valor [4]**.** Otra herramienta utilizada son los llamados A3 o formato A3, el cual es un método originario del Sistema de Producción de Toyota, el cual promueve mediante un sistema basado en hechos la resolución de problemas, llamado así por el tamaño de papel A3 [5]**.**

En esta propuesta, se pretende mejorar el alcance de un VSM tradicional, el cual se utiliza normalmente para identificar y eliminar desperdicios en los procesos operativos, desde la materia prima hasta el producto terminado, buscando hacer visibles cualquier restricción o también llamados cuellos de botella [6]**.**

Industria 4.0

Es el término con el cual fue estipulada la cuarta revolución industrial caracterizada por incorporación de principios ciber físicos [7]**.** Mediante la comunicación instantánea entre máquinas y objetos, así obteniendo cambios y productos más flexibles ante eventos inesperados. Conceptos claves son los llamados internet de las cosas (internet of things IoT), o también internet de los servicios (internet of services IoS), big data, inteligencia artificial y la llamada cloud computing [8], son elementos básicos de la cuarta revolución industrial. Un aspecto clave a considerar es la inversión en el capital intelectual, el que estará trabajando con todas las herramientas de la I4.0, así como la infraestructura necesaria para poder obtener todos los beneficios [9]**.**

Industria 5.0

En la Comisión Europea en el 2021, se mencionó por primera ocasión un concepto con un alcance más holístico, con el objetivo de poner en el centro la parte humana de la industria. Comparando la cuarta revolución centrada en la tecnología, la quinta revolución industrial surge de la necesidad de

centrar en el valor, alineando los indicadores sociales para promover la resiliencia, y así proporcionar prosperidad, poniendo a las personas en el centro de los procesos de producción [10]**.** Algunas empresas han mostrado un compromiso superficial; a pesar de los beneficios y del nuevo enfoque holístico, la creencia central es que las empresas pueden tener resultados sostenibles y organizaciones resilientes[11]**.**

Economía circular

Es un término bastante interesante, que es lo opuesto a la tradicional economía lineal, o también conocida como economía clásica. Si bien, no es algo nuevo, realmente puede ser una solución ideal para los problemas globales que surgen debido a la escasez de recursos y la generación de residuos. Se busca establecer un marco de referencia holístico haciendo un cambio sistemático en la adopción de prácticas de sostenibilidad en los procesos de fabricación existentes a nivel de PYMES [12]**.** La expectativa es transformar la relación entre los sistemas económicos y ecológicos [13]**.** El mayor desafío de las empresas es incorporar desde el diseño del producto hasta las áreas operativas [14] Kurdve & Bellgran diseñaron un llamado *Green Performance Map* que incluye 8 aspectos ambientales, con una jerarquía para encontrar soluciones que van desde eliminar el uso, reducir, reutilizar, reciclar y recuperar energía, hasta los vertederos de materiales residuales. El objetivo principal de la economía circular es maximizar el flujo de valor proveniente del uso de los recursos, lo que implica un compromiso genuino y sostenido, tomando como prioridad clave a lo largo de los procesos [4]**.**

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible

Un interés común en establecer acuerdos y alianzas a lo largo del mundo, para mejorar no solo los aspectos económicos, sino también los ambientales. En el 2015, se establecieron “Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible”, el más reciente esfuerzo de las Naciones Unidas, como resultado se tiene la llamada “Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” [15]. Las temáticas cubiertas fueron relacionadas al agua, energía, urbanización, ciencia y tecnología, transporte, océanos e igualdad.

Actualmente, a medio camino del inicio, el pasado mes de junio de 2023 el informe de progreso muestra que necesitamos incrementar el esfuerzo para difundir la importancia de los ODS y empezar a actuar ahora, porque el 50 por ciento de los resultados son débiles o insuficientes y el 30 por ciento ha parado o incluso en marcha atrás [15].

Estudios en México

La integración de conceptos ambientales y sociales en la economía no ha sido ampliamente investigada en las economías emergentes o en las PYME de estos países, como por ejemplo, América Latina [16]. En México se han realizado una serie de estudios sobre la aplicación de la economía circular (EC), en los que se destacan proyectos relacionados con el uso del agua, el reciclaje de componentes eléctricos como teléfonos celulares, alternativas a los residuos sólidos, metales en general, entre otros [17], [18], [19]. No se han encontrado estudios sobre la aplicación de la CE en una empresa metalmecánica, no hay otros indicios de un estudio global.

Los estudios realizados en México, utilizando los modelos propuestos, enfatizan los beneficios de reducir costos, optimizar la gestión o manejo de residuos, así como los impactos económicos [20].

En estos casos de aplicación, se hace referencia a estándares mexicanos y a indicadores globales, como el Producto Interno Bruto que es una medida del valor total de la producción de un país, generalmente en un año. Este indicador se considera clave en el análisis de la salud de la nación [18], [19].

Métodos de despliegue de objetivos organizacionales

Existen métodos para garantizar que se asegure la correcta implementación de los objetivos empresariales como el Balanced Scorecard, que es simplemente un cuadro de mando integral [21], [22] y la "Matriz X" de Hoshin Kanri [23] que se analiza en este artículo.

Hoshin Kanri (HK) es una herramienta que permite que los objetivos estratégicos permeen en toda la organización, de arriba abajo [24], permitiendo a los altos directivos concentrar el talento en las necesidades clave. Este método fue elaborado por el profesor Yoji Akao quien, a finales de los años 50, incluye la filosofía de la cooperación y el enfoque en las personas en los principios básicos [16]. "Hoshin" viene de dirección o aguja de brújula, y "Kanri", de gestión o dirección [25]. Si bien Hoshin Kanri no es un método nuevo, sigue siendo una herramienta útil para lograr objetivos a corto, mediano y largo plazo. Así que, el despliegue de políticas, otro término para HK, es "el sistema nervioso de la producción Lean", según Pascal Dennis, experto en Lean en Patrick Graupp [26]. HK también ayuda a "crear constancia de propósito", uno de los elementos clave para desempeñarse con excelencia [26].

El desarrollo de la estrategia debe ser asistido mediante técnicas como SWOT (Strengths, Weakness, Opportunities and Threats), PESTEL (Political, Economic, Social, Technological, Legal and Environmental), y/o el análisis de las cinco fuerzas de Porter, entre otras [25]. De los autores que describen los pasos metodológicos a seguir, algunos mencionan 10 pasos, otros 14, mientras que otros resumen el proceso en 5 pasos, respectivamente en[23][16] [27]. Este caso de estudio aplica de forma directa los cinco pasos mencionados por Kesterson [23]: Scan (proceso de formulación de la estrategia), Plan (inicio del proceso HK), Do, Check y Adjust.

Bajo la perspectiva ágil, el proceso de soporte involucra equipos de al menos 3-5 personas, como parte fundamental de la realización de un análisis FODA de una empresa [3]. Hoshin Kanri busca involucrar a los empleados para analizar la situación, crear planes de mejora, verificar la efectividad y tomar medidas de acción, cuya función se ejecuta como el ciclo PDCA de Deming [27]. Hoshin Kanri es una competencia para que los líderes tengan estabilidad. Objetivos transparentes y seguimiento de los desafíos, con la recompensa o el reconocimiento adecuados [28].

Enfoque metodológico

Análisis temático, vínculos entre los conceptos y similitudes

Si bien, varios autores han buscado establecer vínculos entre los conceptos de Lean Manufacturing e Industria 4.0, se han hecho trabajos para demostrar la interrelación y similitudes entre ambos enfoques [3], [29], [30], así como establecer una forma fácil de como incorporar estas corrientes. Al implementar cualquier herramienta o metodología, es fundamental hacer la revisión de las capacitaciones al personal [3], [31]. En esta investigación se muestra una propuesta de modelo, como hoja de ruta de fácil incorporación a cualquier empresa de cualquier giro, en especial, empresas que su naturaleza no involucren conceptos como economía circular, y que tengan nociones básicas de Lean Manufacturing e Industria 4.0. Estudios recientes quieren demostrar la importancia de la incorporación de múltiples enfoques para el beneficio de los desafíos actuales, como la comparación entre EC y los 17 ODS y la fuerte conexión que ambos tienen, también cómo la Industria 4.0 está vinculada a los ODS y contribuye al éxito y logro de los objetivos [32], [33].

No hay forma de mantener la mentalidad tradicional de producción lineal para obtener mejores resultados holísticos. Asimismo, el principio de creación de valor y eliminación de desperdicios es

común tanto a CE como a LM, sin embargo, utilizan un enfoque diferente, su combinación parece ser natural de esta manera [12]. La cuarta revolución trajo consigo nuevos desafíos, como relacionados al personal, cadena de suministro y seguridad de datos; la quinta revolución ayuda a superarlos a través del enfoque en las personas [31].

En la Figura 1 se plantea, con aportación propia, una comparación y similitudes entre los conceptos de Lean Manufacturing, Industria 4.0, Industria 5.0 y Economía Circular. La intención es mostrar con tres dimensiones (enfoque, proceso y personas) las similitudes o perspectivas que promueve cada tendencia. La incorporación de métodos de producción innovadores para reducir el impacto ambiental también se denomina fabricación verde, para lograrlo se deben generar cambios desde las prácticas corporativas, de fabricación y en el pensamiento de todas las partes interesadas[34].

Incorporando la Economía Circular mediante indicadores clave de desempeño

Teniendo como base el hecho de que las empresas basan su visión en satisfacer las necesidades de las partes interesadas, desde clientes, accionistas, gobierno y empleados, el Hoshin Kanri o despliegue estratégico de los objetivos nos ayuda a implementar desde el nivel gerencial más alto hasta el nivel operativo [24], esta herramienta puede ser muy fácilmente utilizada por compañías que no son lucrativas o tienen enfoque social [22]. El éxito de la incorporación de conceptos y principios de economía circular, para transformar de política linear a circular, es necesario implementar acciones y políticas clave así como monitorearlas.

	Manufactura Esbelta	Industria 4.0	Industria 5.0	Economía Circular
Enfoque principal	• Reducir desperdicio. • Valor.	• Optimizar procesos. • Información en tiempo real.	• Sustentabilidad. • Centrado en la humanidad.	• Reducir desperdicio. • Reducir la huella de carbón.
Relacionado al proceso	Mejorar el proceso actual.	Mejorar el proceso mediante tecnología.	Mejorar los servicios a largo plazo.	Negocios innovadores.
Relación con las personas	Orientado a las personas.	Educación en tecnología.	Centrado en las personas.	Promueve el bienestar.

Figura 1. Comparación, similitudes e interrelación de las corrientes expuestas. Fuente investigación y aplicación propia.

Al considerar la implementación de EC, se considera tanto el diseño del producto como la operación de producción que tienen todo el ciclo de vida del producto [14]. Se debe definir el alcance, o la fase a la que se aplicará la EC, para monitorear si las acciones implementadas son exitosas.

Los indicadores de Economía Circular deben considerar los indicadores de triple resultado (triple bottom line indicators TBL), económico, ambiental y social; Algunos indicadores a considerar son la efectividad general del equipo ambiental, las emisiones de carbono, la huella de carbono, el consumo de energía, el consumo de materiales, la satisfacción de los empleados, el nivel de ruido, el consumo de energía, la tasa de accidentes, el índice de carga física, solo por mencionar algunos ejemplos de KPI [6].

Despertando la conciencia en el mundo.

Al implementar la economía circular, el estudio de la cadena de suministro es fundamental, desde la adquisición de materia prima hasta la entrega del producto al cliente final. El concepto holístico se denomina gestión de la cadena de suministro verde o Green Supply Chain Management. La sostenibilidad empresarial es la corriente que tiene como objetivo generar valor agregado para las

actividades de una empresa y minimizar el impacto ambiental y social negativo [16] a través del Triple Bottom Line (TBL).

Varios autores [23], [26], [27], [35] concuerdan en que los objetivos de la EC deben estar dirigidos a las dimensiones ambiental, económica y social. Estas dimensiones se consideran Excelencia Sostenible cuando son integradas, como se mencionó anteriormente, mediante el involucramiento de las partes interesadas y por medio de una planeación estratégica [36]. En 2010 se lanzó la estrategia "Europa 2020" para poner fin a la explotación excesiva de los recursos naturales. Después en 2015, se lanzó "Transformar Nuestro Mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible", también conocida como la Agenda 3P [28].

Estado del arte, marco metodológico.

En esta estrategia de investigación se realizó una revisión sistemática de literatura, con el objeto de obtener evidencia de estudios primarios, consiste en 3 fases, desde pacificación, realización y documentación de la revisión [37]. Con los objetivos o preguntas anteriores mencionados en la fase introductoria, la segunda fase fue establecer el protocolo de búsqueda: las dos herramientas principales para encontrar la literatura base, fueron Scopus y Google Scholar. Se buscaron conceptos y métodos asociados a "Lean Manufacturing", "Industria 4.0", "Industria 5.0", "Economía Circular", "Hoshin Kanri", "VSM", "E-VSM", "diagrama IPO", "A3". Se tienen en cuenta criterios de inclusión y criterios de exclusión. Como parte de criterios de inclusión, el objetivo fue recopilar información y datos de investigaciones de estos temas provenientes de toda América, Europa y Asia. La parte excluyente, se tomó de filtro casos de aplicación del 2017 al 2024, para establecer una propuesta metodológica más fácil de aplicar a las necesidades actuales. Los criterios de calidad seleccionados son: objetivo de estudio, aportación, utilidad, afinidad, facilidad de aplicación.

Se tomaron como referencia 72 artículos de los cuáles solo se encontraron 5 provenientes de México, lo cual remarca la necesidad de casos prácticos para la aplicación en territorio nacional y Latinoamérica. Se hizo revisión de bibliografía tanto en inglés como en español.

Las similitudes entre los diferentes autores, entre las diferentes industrias donde se aplicó, fue tomado en cuenta la parte teórica y se buscó casos prácticos, buscando principalmente estudios en industria metalmecánica, sin embargo, no se encontraron resultados satisfactorios. Se procede a realizar una propuesta base para la aplicación en cualquier ramo industrial, en este estudio se considera para aplicación en una unidad de negocios de una empresa dedicada a la fabricación y pintura de ensambles metal mecánicos.

En base de la bibliografía se genera un modelo-propuesta estilo hoja de ruta para la incorporación a un sistema con procesos enfocados a un nivel *triple bottom*; se programa una prueba piloto, tomando en cuenta todos los comentarios positivos y negativos. Se monitorea por 3 meses el proyecto piloto y se procede a establecer modificaciones y siguientes pasos.

Modelo de implementación. Caso Práctico.

Tras la revisión bibliográfica de los conceptos mencionados, se elige la herramienta VSM (value stream mapping) para reflejar la fotografía actual del proceso, en el cual se establecerán mediante "estrellas" aquellas áreas donde se requiera una mejora. El diseño típico del VSM esta basado en una producción lineal [4]. Es importante seleccionar la línea/producto a mapear [38], asignando prioridad de acuerdo a los objetivos estratégicos.

Comparando estudios similares, Chaparrin Japa [5] establece un VSM ligado a un A3, pero no se menciona el cómo cascadear los objetivos de una alta gerencia hasta las operaciones en piso. En el modelo de Chaparrin, el primer paso es la recopilación de datos y luego el mapeo de la situación actual, la selección de las herramientas de Lean Manufacturing a aplicar depende de la identificación del problema en cada paso. El uso de modelos de simulación, para analizar el desempeño del sistema en diferentes escenarios. La importancia es la adición de los indicadores de triple fondo. Abu-Bakr [39], propuso un modelo cuantitativo para investigar si las herramientas de manufactura esbelta pueden mejorar los indicadores de triple fondo. Después de una larga lista de estudios previos, la intención es llenar el vacío en la literatura que se muestra. Díaz-Reza [40] en su modelo de ecuación estructural, se enfoca en solo tres herramientas de manufactura esbelta para mejorar la sustentabilidad social, que son Kaizen, Gemba y 5 Por qué. Miden a través de la técnica de dinámica de sistemas para simular diferentes escenarios, en maquiladoras mexicanas. Este estudio tiene como objetivo reforzar la importancia de aplicar las herramientas de LM y demostrar los años de trabajo para cosechar los beneficios. Batwara [6] propone un VSM sustentable inteligente (SI-VSM) para PYMES (propietarios, formuladores de políticas o gerentes). El método alternativo sugerido, que pretende potenciar el VSM, además de incluir aspectos sociales y ambientales, es el uso de lo que la literatura denomina el análisis Input-Process-Output (IPO) [41], [42] en cada uno de los pasos o partes que se considere técnicamente aconsejable. Se consideran los controles y facilitadores de cada proceso así como la retroalimentación de los resultados obtenidos al inicio. Los procesos en las fábricas constan de muchos niveles, siendo la salida de un proceso la entrada de un paso posterior y se puede desglosar de acuerdo con el nivel de detalle deseado para ser analizado [25].

Como mencionan algunos de los autores citados [12], [43], [44], [45], [46], [47], se pueden incluir además de los indicadores económicos más comunes a los VSM en cada casilla de proceso. Las dimensiones extra por considerar son la parte social, la cual pudiéramos agregar indicadores ergonómicos, nivel de matriz de entrenamiento o experiencia de los operarios y para la parte ambiental pudiera aplicar los residuos generados, tanto de manejo especial o manejo común, nivel de ruido, luz, gases, etc.

Para dar mayor claridad a las áreas de oportunidad, se decide agregar un diagrama IPO debajo de cada caja del proceso (figura 2), incluyendo una salida/output producto y residuo. Otro aspecto que hace este una propuesta más útil es la posibilidad de permear y alinear los objetivos estratégicos mediante la metodología Hoshin Kanri, así como para establecer el área funcional y/o procesos a los que el equipo dirigirá sus esfuerzos desde la visión de largo plazo de la empresa.

La hoja de ruta propuesta es la siguiente (figura 3):

1. Tomar la decisión/estar dispuesto a incorporar no solo aspectos económicos, sino también sociales y ambientales desde el diseño del producto hasta la fabricación. Definir el alcance en cada uno de los sectores.

2. Establecer métodos de medición para cada aspecto.

3. Definir el primer proceso a trabajar.

4. Definir el estado actual:

a. Realizar un VSM que incluya los aspectos económicos, ambientales y sociales seleccionados a monitorear.

b. Detectar desperdicios o áreas de oportunidad a través de conceptos de LM e identificar puntos a mejorar con la Industria 4.0.

5. Establecer equipos de trabajo.

Para este ejercicio ilustrativo, en la etapa de VSM, en el estado actual o real, se analiza la situación inicial del proyecto, se detecta la forma de medición y se identifican los responsables de gestionar estos indicadores, o campeones del proyecto son identificados.

En la empresa de ensambles y pintura de productos metal mecánicos se procedió a realizar el siguiente caso práctico de implementación. Como antecedente, la empresa tiene varios años que ha colocado dentro de sus objetivos estratégicos rubros que abarcan seguridad y medio ambiente, política de Calidad e indicadores de calidad, medición de las entregas, costo y eficiencia, así como programas de desarrollo a la excelencia e innovación y desarrollo del personal. Se desea correr una prueba piloto con el modelo mencionado anteriormente. Al realizarse un VSM holístico con el triple bottom line se elige la línea de pintura, esto debido a que se concentra la mayor cantidad de consumo de insumos que se van a disposición de manejo especial.

Aplicando los pasos de la hoja de ruta:

Paso uno: Tomar la decisión/estar dispuesto a incorporar aspectos sociales y ambientales, completo como se mencionó anteriormente. La sustentabilidad, equidad, diversidad e inclusión son parte de los valores de la empresa estudiada. Además, la empresa cuenta con las certificaciones ISO 14001 e ISO 45001.

Paso dos: Establecer métodos de medición para cada aspecto. Ejemplos de las métricas desarrolladas por la empresa incluyen la Tasa Total de Incidentes Registrables (TRIR), Días Fuera del Trabajo (DART), nivel de riesgo EHS.

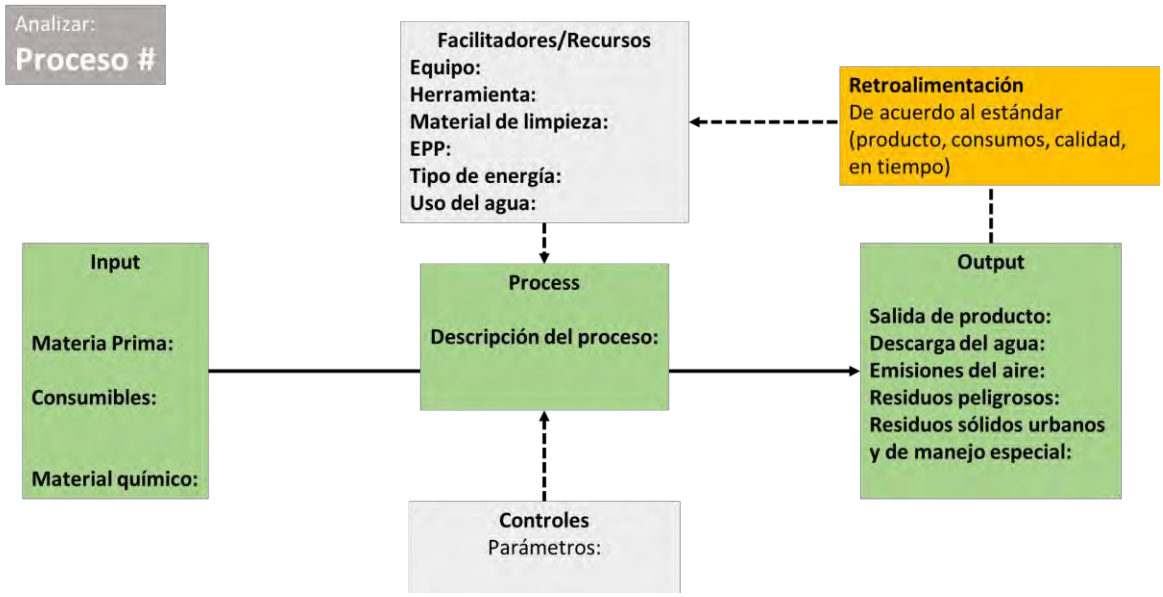


Figura 2. Despliegue de diagrama IPO holístico. Fuente investigación y aplicación propia.

Paso tres: Definir el primer proceso en el que trabajar.

En las instalaciones de México, uno de los modelos de productos metalmecánicos elegidos para la aplicación de un VSM holístico a nivel micro.

Paso cuatro: Definir el estado actual:

a. Desarrollar un VSM que incluya los aspectos económicos, ambientales y sociales seleccionados para ser monitoreados.

La caja del VSM, antes y después de aplicar los principios del triple fondo (ver tabla 1).

b. Detectar desperdicios o áreas de oportunidad a través de los conceptos LM e identificar puntos a mejorar con I4.0, ver en figura 4.

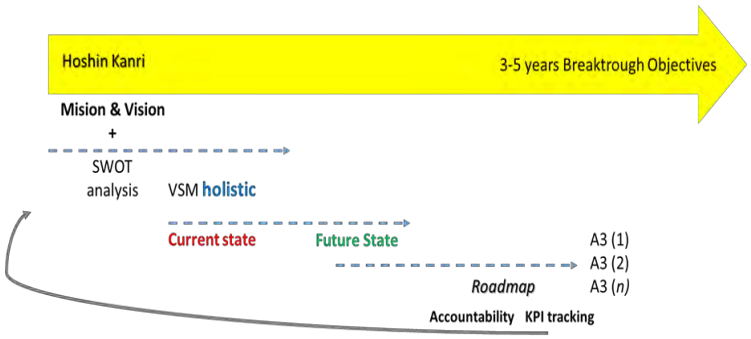


Figura 3. Cascadear mediante Hoshin Kanri desde la alta dirección las iniciativas de Economía Circular. Fuente investigación y aplicación propia.

Paso cinco: Establecer equipos de trabajo. Tras la recolección de datos y la identificación de áreas de oportunidad, se elabora el listado de eventos para establecer un líder y el equipo que debe asistir al evento para garantizar el éxito del mismo. Luego de conformar los equipos de trabajo, contar con un cronograma de los proyectos ayudará a dar seguimiento a las necesidades del triple resultado, teniendo un líder específico, fecha y KPI a seguir. Enfocando a nuestra gente en las principales áreas de oportunidad.

Tabla 1 Caja del VSM antes y después. Referencia [43] y adaptación propia.

Caja VSM antes	Caja VSM después
# Operadores	# Operadores
# de turnos	# de turnos
T. Neto Disponible	T. Neto Disponible
Tiempo Ciclo Maquina	Tiempo Ciclo Maquina
Tiempos muertos	Tiempos muertos
DPU	DPU
	Nivel Ergonómico
	Nivel de riesgo
	% Entrenamiento
	Nivel de ruido
	Residuos ambientales (KG por día)
	Humos
	Nivel de luz

Resultados y discusión

Revisión de cifras actuales.

De los tres (3) eventos a realizar, uno es una acción puntual con entrenamiento, y dos eventos kaizen se proceden a programar. En esta investigación se procede a plasmar los resultados del evento ambiental. En la figura 5 se observan los datos de respaldo donde se sostiene la importancia de tomar cartas en el asunto en Planta Pintura. El 87% de los residuos peligrosos y de manejo especial son provenientes de los procesos de Planta Pintura, y el 13% es proveniente de las Procesos de Ensamble, ver en figura 5.

Como seguimiento al VSM y diagrama IPO holístico, se realizan los diagramas IPO de cada una de las estaciones del proceso de Pintura, ver figura 6, ejemplo de diagrama del proceso de estación 1 Preparación.

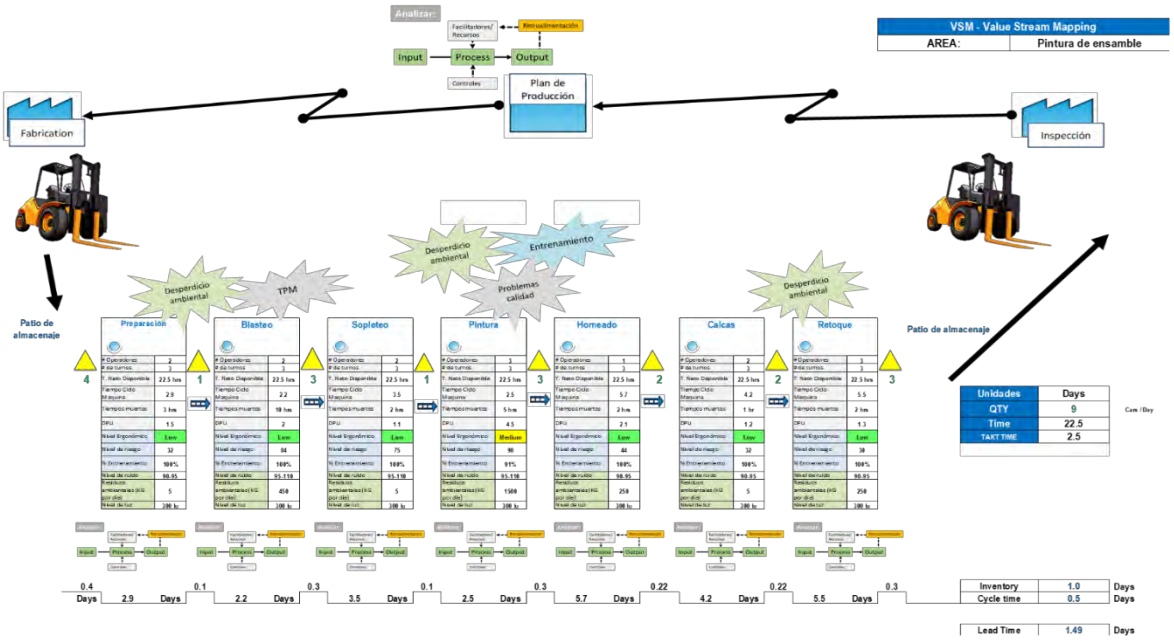


Figura 4. Aplicación de VSM holístico a unidad de negocios Pintura. Fuente elaboración propia.



Figura 5. Estratificación del origen de residuos contaminados y de manejo especial en Planta 1 México. Datos del 2023 elaboración propia.

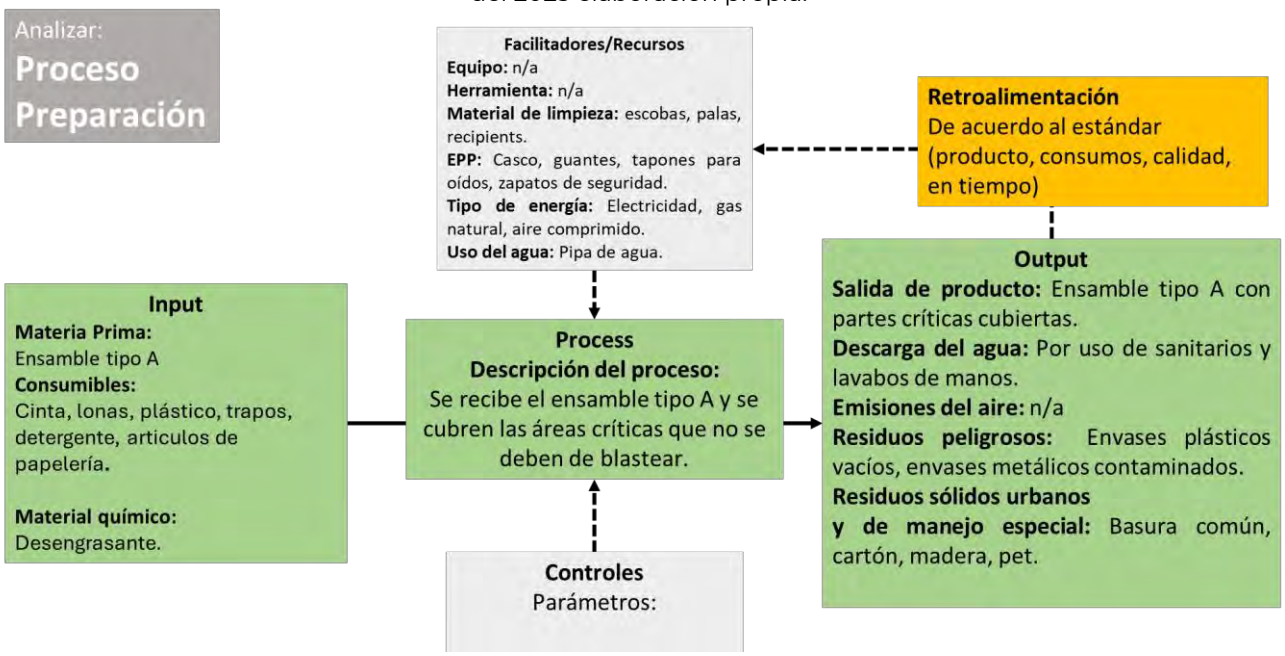


Figura 6. Diagrama IPO holístico propuesto del primer proceso, estación *Preparación*. Elaboración propia.

Actividades Evento Kaizen desarrollado para impacto ambiental

El VSM holístico se realiza en el mes de febrero, se detecta una tendencia promedio de 350 kg de desechos por ensamble, resultando del promedio de 2023 y los primeros 2 meses del 2024.

En el evento kaizen se realizan las siguientes actividades de manera resumida:

- Día 1, se procede a desarrollar la semana Kaizen, donde se comienza con entrenamiento técnico de principios Lean, así como conocimientos específicos de Medio Ambiente y relacionados a Economía Circular.
- Día 2 del evento se procede a realizar levantamiento de hallazgos y anormalidades, se recorre el *gemba* y se entrevista a los operadores en turno, así como personal administrativo.
- Día 3 se comienza a hacer el análisis de las desviaciones detectadas, así como se procede a realizar el análisis de costo beneficio e impacto dificultad de los hallazgos y sus posibles soluciones. Para este paso se busca implementar actividades o soluciones de Lean Manufacturing así como identificación de tecnología y herramientas de Industria 4.0. Todo esto con la finalidad de garantizar procesos más esbeltos, menos desperdicios y mejorar la satisfacción de los empleados (industria 5.0).
- Día 4 se procede a cerrar las actividades que son de acción inmediata.
- Día 5 se realiza el informe para los ejecutivos sobre todo lo detectado y las actividades que no se pudieron cerrar y se colocarán en un listado de acciones a monitorear por los siguientes 30 días. Se muestran los métricos y parámetros de éxito. En este caso se medirá mediante kilogramos de desecho por ensamble producido. Se establece una meta de 272 kg por ensamble.

Últimos resultados: seguimiento al KPI

Se genera un canal de comunicación entre los diversos participantes del Kaizen Ambiental. Estableciendo reuniones periódicas tanto vía remota como visitas al gemba, con la finalidad de monitorear el cierre de los hallazgos.

Las primeras acciones cerradas traen consigo una disminución de 30% de los residuos por ensamble fabricado, lo cual trae beneficios ambientales, sociales, culturales y económicos. Figura 7 muestra los kg por ensamble que se registraron en el 2023, así como cada uno de los meses del 2024.

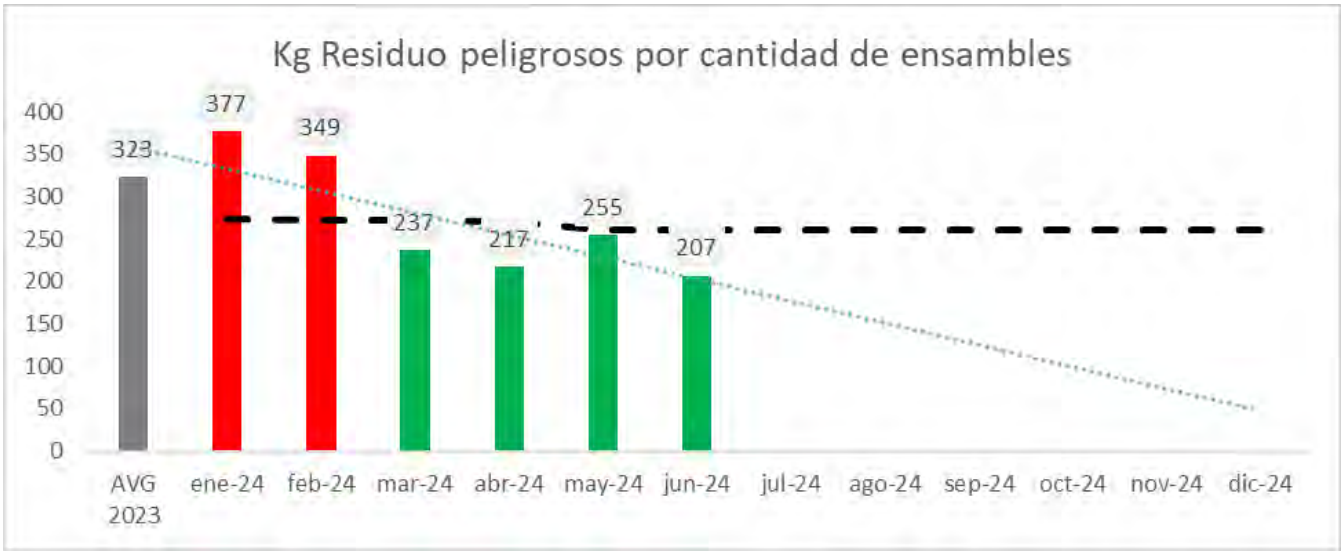


Figura 7. Seguimiento al primer evento Kaizen Ambiental en Planta Pintura. Investigación y resultados del proyecto.

Trabajo a futuro

Como se puede ver en la gráfica (figura 7) de sostenimiento del evento, se ha tenido la disminución de residuos de manejo especial de un más de un 30%. Los datos fueron modificados por cuestiones de confidencialidad de la empresa estudiada, sin embargo, guardan proporción del impacto favorable.

El siguiente paso es hacer la expansión horizontal en otra unidad de negocio en otra localidad, para comparar similitudes con el modelo y limitaciones.

Se pretende hacer un análisis del impacto económico de esta disminución de residuos generados, sin embargo, el impacto social, cultural y ambiental, es lo más valioso que deja este tipo de seguimiento e incorporación.

Algo importante de mencionar, es que antes de la implementación de este VSM holístico, no se había realizado ningún proyecto Kaizen ambiental.

Conclusiones y recomendaciones

Existe un campo de estudio y aplicación de los conceptos y metodología. Existen casos de éxito a nivel mundial de empresas que incorporan conceptos como LM, Industria 4.0, HK y CE.

Sin embargo, no se encontró ningún caso específico de aplicación en México, y menos en una empresa metalmecánica que no esté cimentada en estos conceptos (LM e Industria 4.0), como las empresas automotrices. Este caso de estudio es de aplicación de una industria metalmecánica en México, donde se incorporaron los conceptos de LM, Industria 4.0 y CE, a diferencia de los casos de VSM que no incorporan aspectos ambientales y sociales.

Esto abre un abanico de posibilidades para orientar a las empresas en este campo. Entre los principales beneficios presentados se encuentra la promoción de aspectos de bienestar social y ambiental en pro de la salud de la empresa, la huella ambiental, el cuidado del uso adecuado de los recursos naturales y el fomento de la mejora continua en los procesos. Otros beneficios incluyen apelar al talento humano para desarrollar nuevos métodos y estrategias en pro de la salud humana y ambiental, así como mejorar el ciclo de vida de los productos finales, dependiendo del nivel organizacional en el que se adopte. Esto ayudará a sentar las bases para la Industria 5.0.

Dentro de este primer Kaizen ambiental se utilizaron herramientas de Ingeniería Industrial y Manufactura Esbelta, desde el VSM, estudio de tiempos y movimientos, diagrama de espagueti, diagrama IPO, así como el cascadeo del Hoshin Kanri, la metodología A3. Para la parte de Industria 4.0 se buscaron alternativas "*inteligentes*" para el control y almacenaje de pintura, se tiene una sala que cuenta con realidad virtual para capacitación en el proceso de simulación del proceso de pintura, así como blasteo, así como espacios para hacer prácticas en campo. En la dinámica de la incorporación de conceptos de economía circular, se buscó acciones específicas para reducir, reusar, reciclar y recuperar materiales y consumibles. Si bien las herramientas de manufactura esbelta e ingeniería industrial no son nuevas, su uso y aplicación hacen una gran diferencia en procesos y por ende los resultados. Al momento de aplicar junto con los tópicos del triple bottom line, en un principio se tenía dificultad de que hay indicadores que solo se tienen por nave de producción o algunos otros por toda la unidad de negocio, lo cual hacía muy difícil el estratificar el área de oportunidad de una manera rápida.

Entre las recomendaciones asociadas a la aplicación del caso destacan:

Las barreras identificadas para el desarrollo de esta propuesta incluyen madurez de las empresas para darse cuenta de la importancia de salvaguardar su huella ambiental, falta de regulaciones que obliguen a las empresas a tomar mayores acciones, falta de conocimiento sobre temas básicos de LM e Industria 4.0 y cascada de la estrategia a través de todos los departamentos y capas de la empresa.

Por otro lado, los beneficios incluyen:

Crear una herramienta visual para detectar las principales áreas de mejora de los procesos, priorizar eventos donde los miembros del equipo establecerán sus esfuerzos, establecer un enfoque holístico para apoyar los desafíos actuales, desarrollar un marco de trabajo que sea fácil de aplicar a diferentes industrias y una metodología probada con resultados económicos que podría mejorar los factores sociales y ambientales.

Referencias

[1] F. Rosin, P. Forget, S. Lamouri, y R. Pellerin, “Impacts of Industry 4 . 0 technologies on Lean principles”, Int J Prod Res, vol. 0, núm. 0, pp. 1–18, 2019, doi: 10.1080/00207543.2019.1672902.

[2] Gerard. Kaufmann, Aligning Lean and Value-based Management. 2020.

[3] D. Flores-Galindo, R. G. Herrera, A. L. M. Methodology, L. Thinking, y L. Management, “The Journey from Lean Manufacturing to Industry 4 . 0 : The Rail Manufacturing Process in Mexico”, International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, vol. 15, núm. 6, pp. 294–299, 2021, [En línea]. Disponible en: https://publications.waset.org/10012109/the-journey-from-lean-manufacturing-to-industry-40-the-rail-manufacturing-process-in-mexico

[4] F. Kalemkerian, J. Santos, M. Tanco, J. A. Garza-Reyes, y E. Viles, “Analysing the alignment between the Green Lean and Circular strategies: towards a Circular Lean approach”, Journal of Manufacturing Technology Management, 2022, doi: 10.1108/JMTM-11-2021-0480.

[5] R. D. P. Chaparin, E. Ramos, y L. Sequeiros, “Sustainable Lean Manufacturing model to reduce waste in a dairy company in Peru”, LACCEI (Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions), dic. 2023. doi: 10.18687/leird2023.1.1.465.

[6] A. Batwara, V. Sharma, M. Makkar, y A. Giallanza, “Impact of Smart Sustainable Value Stream Mapping-Fuzzy PSI Decision-Making Framework”. [En línea]. Disponible en: https://ssrn.com/abstract=4632586

[7] A. Sanders, C. Elangeswaran, y J. Wulfsberg, “Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing”, Journal of Industrial Engineering and Management, vol. 9, núm. 3, pp. 811–833, 2016, doi: 10.3926/jiem.1940.

[8] M. M. Huidobro, M. A. M., Vera, A. D. C., & Aranda, “Estrategias del sector público y privado para la implementación de la Industria 4.0 en México Strategies of the public and private sector for the implementation of Industry 4.0 in Mexico”, vol. 6, pp. 13–31, 2020.

[9] J. H. Ávila-Bohórquez y R. de J. Gil-Herrera, “Proposal and Validation of an Industry 4.0 Maturity Model for SMEs”, Journal of Industrial Engineering and Management, vol. 15, núm. 3, pp. 433–454, 2022, doi: 10.3926/jiem.3673.

[10] X. Xu, Y. Lu, B. Vogel-Heuser, y L. Wang, “Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception”, J Manuf Syst, vol. 61, pp. 530–535, oct. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006.

[11] V. Cillo, G. L. Gregori, L. M. Daniele, F. Caputo, y N. Bitbol-Saba, “Rethinking companies’ culture through knowledge management lens during Industry 5.0 transition”, Journal of Knowledge Management, vol. 26, núm. 10, pp. 2485–2498, nov. 2022, doi: 10.1108/JKM-09-2021-0718.

[12] S. P. Nadeem, J. A. Garza-Reyes, A. I. Anosike, y V. Kumar, “Coalescing the lean and circular economy”, Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, vol. 2019, núm. MAR, pp. 1082–1093, 2019.

[13] M. Oliveira et al., “Circular Economy and the Transition to a Sustainable Society: Integrated Assessment Methods for a New Paradigm”, Circular Economy and Sustainability, vol. 1, núm. 1, pp. 99–113, jun. 2021, doi: 10.1007/s43615-021-00019-y.

[14] M. Kurdve y M. Bellgran, “Green lean operationalisation of the circular economy concept on production shop floor level”, J Clean Prod, vol. 278, p. 123223, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123223.

[15] United Nations, “The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023”, 2023, Consultado: el 14 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf

[16] R. M. Vivas, “Propuesta De Implementación Del Modelo Hoshin Kanri En Una Mipyme Del Sector Constructor”, 2018.

[17] V. F. Vladimir, N. C. Mercedes, C. M. M. Francisca, y M. V. D. José, “Balanced scorecard: Key tool for strategic learning and strengthening in business organizations”, Academic Journal of Interdisciplinary Studies, vol. 9, núm. 3, pp. 1–11, 2020, doi: 10.36941/ajis-2020-0036.

[18] G. Moraga et al., “Circular economy indicators: What do they measure?”, Resour Conserv Recycl, vol. 146, núm. April, pp. 452–461, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.03.045.

[19] P. Morseletto, “Targets for a circular economy”, Resour Conserv Recycl, vol. 153, núm. October 2019, p. 104553, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104553.

[20] M. Kaya, “Industrial applications of circular economy for e-waste recycling”, Horizons in Earth science research, vol. 22, p. 117, 2021.

[21] R. Malagueño, E. Lopez-Valeiras, y J. Gomez-Conde, “Balanced scorecard in SMEs: effects on innovation and financial performance”, Small Business Economics, vol. 51, núm. 1, pp. 221–244, 2018, doi: 10.1007/s11187-017-9921-3.

[22] L. M. M. Pérez, “Balanced Scorecard for the Management of Social Impact in Inclusive Employment Organizations”, CIRIEC-Espana Revista de Economia Publica, Social y Cooperativa, núm. 98, pp. 153–188, 2020, doi: 10.7203/CIRIEC-E.98.13368.

[23] R. Kesterson, Hoshin Kanri. 2017. doi: 10.4324/9781315587035.

[24] M. H. A. Soliman, “The Toyota Way to Effective Strategy Deployment: How Organizations Can Focus Energy on Key Priorities Through Hoshin Kanri to Achieve the Business Goals”, Journal of Operations and Strategic Planning, vol. 3, núm. 2, pp. 132–158, 2020, doi: 10.1177/2516600x20946542.

[25] M. Baudin y T. Netland, Introduction to Manufacturing: An Industrial Engineering and Management Perspective. 2022.

[26] P. Graupp, S. Steward, y B. Parsons, Creating an effective management system: Integrating policy deployment, TWI, and Kata. 2019.

[27] A. O. Paraschivescu, “Hoshin Kanri and Total Quality Management.”, Economy Transdisciplinarity Cognition, vol. 21, núm. 1, pp. 91–98, 2018, [En línea]. Disponible en: http://ezproxy.liberty.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=131469948&site=ehost-live&scope=site

[28] I. S. Gatell y L. Avella, “Impact of Industry 4.0 and circular economy on lean culture and leadership: Assessing digital green lean as a new concept”, European Research on Management and Business Economics, vol. 30, núm. 1, ene. 2024, doi: 10.1016/j.iedeen.2023.100232.

[29] N. Yadav, R. Shankar, y S. P. Singh, “Impact of Industry4.0/ICTs, Lean Six Sigma and quality management systems on organisational performance”, TQM Journal, vol. 32, núm. 4, pp. 815–835, 2020, doi: 10.1108/TQM-10-2019-0251.

[30] L. Varela, A. Araújo, P. Ávila, H. Castro, y G. Putnik, “Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability”, Sustainability (Switzerland), vol. 11, núm. 5, pp. 1–19, 2019, doi: 10.3390/su11051439.

[31] M. Khan, A. Haleem, y M. Javaid, “Changes and improvements in Industry 5.0: A strategic approach to overcome the challenges of Industry 4.0”, Green Technologies and Sustainability, vol. 1, núm. 2, p. 100020, may 2023, doi: 10.1016/j.grets.2023.100020.

[32] R. Panchal, A. Singh, y H. Diwan, “Does circular economy performance lead to sustainable development? – A systematic literature review”, el 1 de septiembre de 2021, Academic Press. doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112811.

[33] T. E. T. Dantas, E. D. de-Souza, I. R. Destro, G. Hammes, C. M. T. Rodriguez, y S. R. Soares, “How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals”, el 1 de abril de 2021, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.spc.2020.10.005.

[34] A. Haleem, M. Javaid, R. P. Singh, R. Suman, y M. A. Qadri, “A pervasive study on Green Manufacturing towards attaining sustainability”, Green Technologies and Sustainability, vol. 1, núm. 2, p. 100018, may 2023, doi: 10.1016/j.grets.2023.100018.

[35] G. Tortorella, P. A. Cauchick-Miguel, y P. Gaiardelli, “Hoshin Kanri and A3: a proposal for integrating variability into the policy deployment process”, TQM Journal, vol. 31, núm. 2, pp. 118–135, 2019, doi: 10.1108/TQM-06-2018-0076.

[36] R. Ennals, “Hoshin Kanri The Strategic Approach to Continuous”, núm. February, 2015, doi: 10.1007/s00146-009-0203-8.

[37] D. Cordova-pizarro, I. Aguilar-barajas, y D. Romero, “Circular Economy in the Electronic Products Sector : Material Flow Analysis and Economic Impact of Cellphone E-Waste in Mexico”, 2019, doi: 10.3390/su11051361.

[38] J. Abisourour, M. Hachkar, B. Mounir, y A. Farchi, “Methodology for integrated management system improvement: combining costs deployment and value stream mapping”, Int J Prod Res, vol. 58, núm. 12, pp. 3667–3685, jun. 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1633482.

[39] M. A. Abu-Bakr, M. G. Abdel-Kader, y A. F. Elbayoumi, “Measuring the Impact of Lean Manufacturing Practices on Sustainability Performance: A Proposed Model): Roadmaps for Sustainable Businesses: Egypt Measuring the Impact of Lean Manufacturing Practices on Sustainability Performance: A Proposed Model”, 2017.

[40] J. Roberto Díaz-Reza, J. Luis García-Alcaraz, A. J. Gil-López, y A. Realyvasquez-Vargas, “Lean Manufacturing Tools as Drivers of Social Sustainability in the Mexican Maquiladora Industry”, doi: 10.17632/4fphc32fj3.1.

[41] X. Chen, Y. Zhu, y J. Shen, “Input-output dynamic model for optimal environmental pollution control”, Appl Math Model, vol. 83, pp. 301–321, 2020, doi: 10.1016/j.apm.2020.02.029.

[42] J. Decius, N. Schaper, y A. Seifert, Work Characteristics or Workers ’ Characteristics ? An Input-Process-Output Perspective on Informal Workplace Learning of Blue-Collar Workers. Springer Netherlands, 2021. doi: 10.1007/s12186-021-09265-5.

[43] R. R. Hartini S, Manurung J, “Sustainable-value stream mapping to improve manufacturing sustainability performance : Case study in a natural dye batik SME ’ s Sustainable-value stream mapping to improve manufacturing sustainability performance : Case study in a natural dye batik SME ’”, 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1072/1/012066.

[44] N. Jamil, H. Gholami, M. Zameri, M. Saman, S. Sharif, y N. Zakuan, “DMAIC-based approach to sustainable value stream mapping : towards a sustainable manufacturing system”, Economic Research-Ekonomska Istraživanja, vol. 33, núm. 1, pp. 331–360, 2020, doi: 10.1080/1331677X.2020.1715236.

[45] A. Muñoz-villamizar, J. Santos, J. J. Garcia-sabater, U. P. De Valencia, P. Grau, y S. Sebastian, “Green value stream mapping approach to improving productivity and environmental performance”, 2018, doi: 10.1108/IJPPM-06-2018-0216.

[46] L. Ngo, “The influence of ICT on the accommodation industry in”, 2019.

[47] T. Phuong, N.A., Guidat, “Sustainable value stream mapping and technology Industry 4.0 in manufacturing process re-configuration: a case study in apparel company.”, pp. 85–90, 2018.