



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

KAIZEN DIGITAL

PRODUCCIÓN AJUSTADA, KAIZEN Y NUEVAS TECNOLOGÍAS
PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LAS EMPRESAS



DE LA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN AJUSTADA
A KAIZEN DIGITAL

DIRECTRICES

KAIZEN DIGITAL

**PRODUCCIÓN AJUSTADA, KAIZEN Y NUEVAS TECNOLOGÍAS
PARA AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE LAS EMPRESAS**

.....

Viena, Austria
Julio de 2022



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

Contenido

AGRADECIMIENTO

La presente publicación en español, primera en este idioma, ha sido preparada por el área de Transformación Digital de la ONUDI. Esta es la segunda edición del manual publicado en octubre de 2019 bajo el título “*UNIDO Shop Floor Assistance Guidelines*”. Muchos colegas han participado en esta labor. Nuestro agradecimiento al equipo de la primera edición, coordinado por **Olga Memedovic**, con el apoyo de **Oliver Authried, Eduard Khrypko, Victor Nadolski, Yuri Pallahoshka, Andre Shulha, Tim Scurlock, Anatoly Balonev, Julia Kniga e Iana Rössl**. Mención especial merecen **Jochen Schreiber y Christian Salvinetti** de EFS Consulting, que diseñaron el marco de base para la aplicación de Kaizen Digital.

Esta segunda edición ha sido preparada por el equipo de **Marco Kamiya**, con el apoyo de **Oliver Authried, Jinfeng Mu, Yi Zhang, Alexis Yong y Anatoly Balonev**. Excelcis SARL colaboró en tareas de traducción y edición.

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Las denominaciones empleadas y la presentación del contenido en este documento no conllevan la expresión de opinión alguna de la Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) en relación con la situación jurídica de determinados países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni sobre la delimitación de sus fronteras o límites.

Los puntos de vista y las opiniones del equipo no reflejan necesariamente la opinión de los gobiernos o la ONUDI. El empleo de los términos "desarrollado", "industrializado" y "en desarrollo", entre otros, obedece a fines estadísticos, y no expresa ningún juicio sobre el estado de un país o una zona específicos en cuanto a su grado de desarrollo. La mención de nombres de empresas o de productos comerciales no conlleva su respaldo por la ONUDI.

Este documento no se ha editado a nivel oficial.

La presente publicación se elaboró en el marco del proyecto de la ONUDI '*Institutional Strengthening and policy support to upgrade the component manufacturers in the automotive sector in the Republic of Belarus*' (Fortalecimiento institucional y apoyo político a la modernización de la labor de los fabricantes de componentes en el sector automovilístico en la República de Belarús), financiado por la Federación de Rusia.

1. INTRODUCCIÓN	6
2. CONCEPTO DE PRODUCCIÓN AJUSTADA	8
2.1 Beneficios de la producción ajustada	9
2.2 Origen de la producción ajustada	9
3. PRINCIPALES TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS	10
3.1 Tiempo Takt	11
3.2 Flujo de una sola pieza	11
3.3 Sistemas basados en la demanda	12
3.4 Análisis del flujo de valor	13
3.5 Kanban	14
3.6 Normalización	15
3.7 Gestión visual	16
3.8 Ocho desperdicios	16
3.9 Cinco s ("5 s")	18
3.10 SMED	21
3.11 Mantenimiento productivo total	22
3.12 Creación de una cultura de producción ajustada	25
4. SOLUCIONES 4IR PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA DE LA PRODUCCIÓN AJUSTADA	26
4.1 IIoT: fomento de cadenas mundiales de suministro interconectadas con incorporación de funciones de trazabilidad	27
4.2 Análisis basado en macrodatos: soluciones inteligentes y adaptables	29
4.3 Producción aditiva: desarrollo de productos y servicios personalizados	32
4.4 Blockchain: aumento de la seguridad y de la transparencia a lo largo de la cadena de suministro	33
4.5 Robótica: facilitación de la fabricación automatizada y colaborativa	36
4.6 Inteligencia artificial: aumento de la autonomía de las plantas de producción inteligente mediante soluciones de mente humana	39
5. ENFOQUES DE IMPLANTACIÓN	42
5.1 Enfoque de clase magistral	43
5.2 Diagnóstico en profundidad	48
5.3 Kaizen digital	51
6. OBSERVACIONES FINALES	56
ACRÓNIMOS	58
LISTAS DE FIGURAS Y CUADROS	60



Introducción

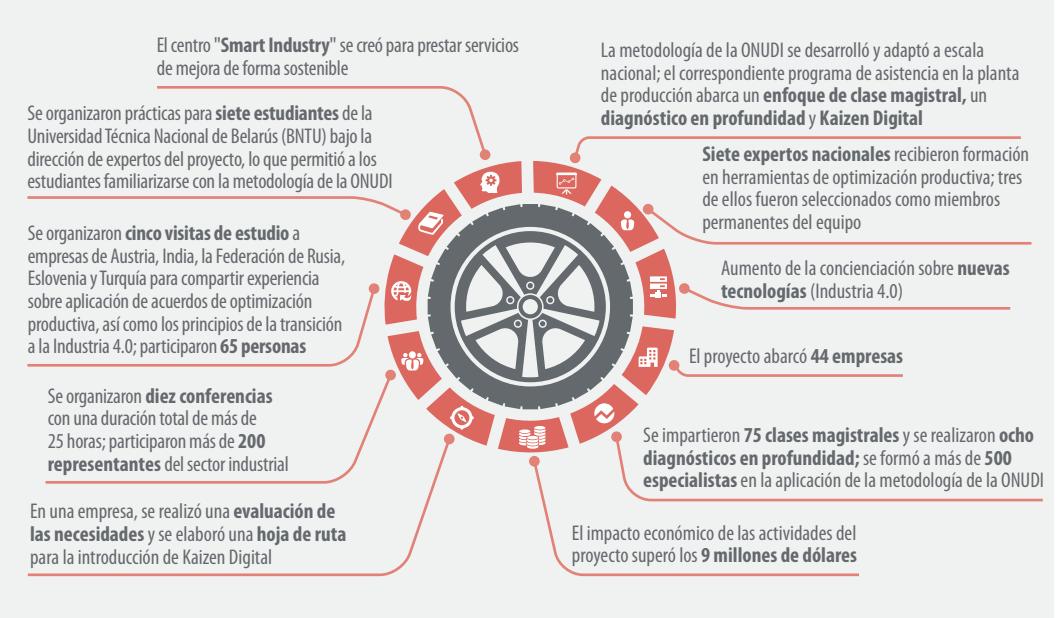
Con objeto de competir en los mercados internacionales, las pequeñas y medianas empresas (PYME) de las economías emergentes y de los países en transición deben realizar mejoras significativas en sus métodos de fabricación. La necesidad de garantizar que esas mejoras no sólo se centran en el aumento de la eficiencia, sino que estén asimismo en consonancia con la atención cada vez mayor que se presta a la responsabilidad social empresarial, requiere una revisión general de los procesos productivos en muchos de esos países. Entre los factores más destacados a ese respecto cabe destacar el mantenimiento de costes de producción bajos, el aumento de la productividad y el desarrollo de vínculos con redes de proveedores sostenibles. Para ello, la ONUDI presta servicios destinados a aumentar la competitividad de las empresas mediante metodologías de agrupación y establecimiento de redes de contactos, reducción de costes y aumento de la productividad, así como a desarrollar redes de proveedores sostenibles e identificar nuevos mercados.

El rendimiento y la competitividad empresariales vienen dados en gran medida por una serie de factores externos e internos. Los factores relacionados con el entorno empresarial y las instituciones de apoyo revisten tanta importancia como los factores internos que influyen en la producción y el desarrollo de las empresas. La ONUDI ha centrado su asistencia técnica en dos niveles interrelacionados: a) un programa de asistencia directa en la planta de producción para que empresas piloto muestren ejemplos prácticos de servicios de mejora; y b) actividades de capacitación para instituciones de apoyo y asesoramiento con miras a prestar servicios de mejora empresarial de forma sostenible.

En las presentes directrices se describe la metodología de la ONUDI sobre el Programa de asistencia en plantas de producción ajustada, en el marco del proyecto de la

ONUDI "Fortalecimiento institucional y apoyo político para la modernización de la labor de los fabricantes de componentes en el sector automovilístico en la República de Belarús", financiado por medio de una contribución voluntaria de la Federación de Rusia al Fondo de Desarrollo Industrial de la ONUDI. La metodología se basa en herramientas e instrumentos de producción ajustada y se ha aplicado con éxito en otros proyectos de la ONUDI a nivel internacional. Las herramientas de producción ajustada son ampliamente conocidas y se han elaborado muchas publicaciones y manuales al respecto. Las presentes directrices resumen la experiencia de la ONUDI en el proyecto de Belarús, sobre la base de fuentes abiertas.

En el proyecto se obtuvieron los resultados más destacados enumerados a continuación.



La producción ajustada, o *Lean manufacturing*, constituye una metodología mundialmente ensayada destinada a la mejora de los procesos productivos mediante la optimización de los mismos y la eliminación de residuos. Tiene por objeto mejorar la calidad, reducir los costes y acortar los plazos de entrega. Los métodos de producción ajustada se siguen aplicando con éxito, y aunque se originaron en la década

de los años 50, se han convertido en una herramienta habitual de trabajo, y siguen siendo muy relevantes para el desarrollo empresarial. La necesidad de que las empresas reaccionen rápidamente a los cambios de la demanda y la relativa sencillez de la metodología propuesta hacen que su aplicación siga siendo muy beneficiosa para cualquier empresa, en particular en el sector productivo.



Concepto de producción ajustada

El concepto de gestión de la producción ajustada, o *Lean manufacturing*, se basa en una serie de herramientas y principios que tienen por objeto optimizar los recursos (y, por tanto, maximizar el valor) en todo proceso empresarial, así como facilitar la adaptación y resiliencia de las empresas al abordar transformaciones operacionales. Abarca un conjunto de principios fundamentales y de etapas lógicas para analizar y optimizar la actividad de las empresas, en particular en el sector productivo. Uno de los elementos más destacados es la participación de los trabajadores para identificar, debatir y resolver problemas empresariales, con el fin de aumentar la productividad, mejorar la calidad, reducir los plazos de entrega y usar mejor los recursos.

No obstante, las mejores aplicaciones relativas a la producción ajustada van más allá de esos beneficios tangibles al promover una cultura de mejora ininterrumpida, a fin de capacitar a los trabajadores para analizar el *status quo*, colaborar para resolver posibles problemas y evitar que éstos se repitan, y lograr mejoras de calidad y productividad. Empresas como Toyota, en las que la producción ajustada ha constituido una herramienta habitual durante decenios, gozan de las ventajas de una cultura conexa que comprende tanto directivos como trabajadores, y les permite mantenerse por delante de la competencia. Dichas empresas suelen aplicar la metodología de producción ajustada porque ofrece muchas de las ventajas, o todas, que se enumeran en la Figura 1.

2.1 BENEFICIOS DE LA PRODUCCIÓN AJUSTADA

Producción no ajustada	Organización con arreglo a la producción ajustada	Beneficios
Procesos poco claros o patentados	Procesos transparentes	Mayor comprensión y visibilidad a nivel interfuncional
Resolución de problemas específicos	Resolución de problemas de forma colaborativa	Soluciones operacionales de más calidad
Trabajadores reactivos	Trabajadores proactivos que manifiestan dificultades o inquietudes a medida que surgen	La "exención de culpa" facilita la identificación y resolución de problemas de forma rápida
Cambios propiciados por la dirección	Cambios propiciados por los trabajadores	Cambios más rápidos, mayor capacidad de respuesta a las necesidades de los clientes, agilización de la gestión

Figura 1 - Beneficios de la cultura de producción ajustada. Fuente: *Applied Lean Consulting*

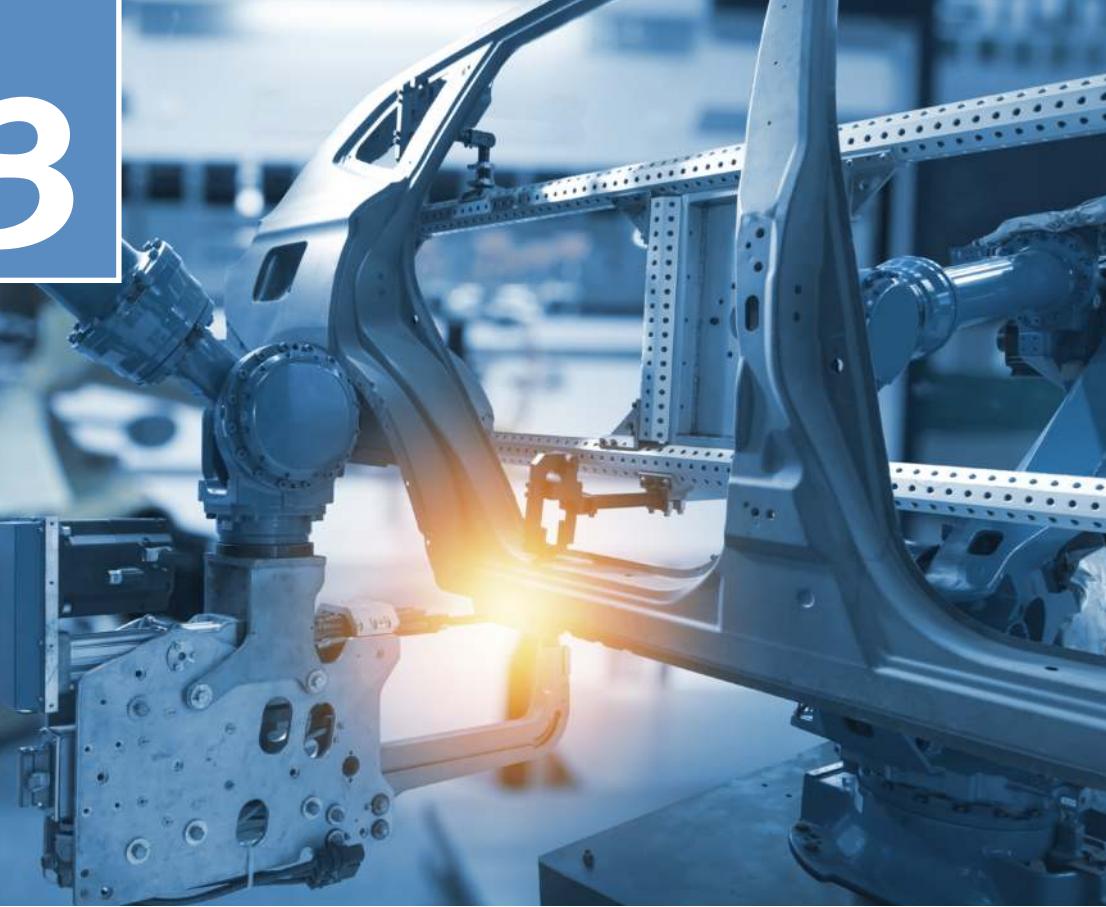
2.2 ORIGEN DE LA PRODUCCIÓN AJUSTADA

En los años 50, Toyota competía con metodologías de producción en serie de GM y Ford que le permitían lograr un coste asequible por unidad al producir un elevado volumen de productos similares. Sin embargo, Toyota no podía permitirse aplicar la metodología de Ford y GM con líneas de productos mixtos de menor volumen que demandaba su mercado local. A raíz de ello, Taiichi Ohno, director de planta en Toyota, adaptó algunos de los conceptos de GM y Ford con respecto a varias iniciativas prácticas y culturales a fin de crear

el Sistema de producción Toyota (TPS). Desde entonces, el sistema TPS ha constituido la base de la producción ajustada en todo el mundo, progresivamente ampliado desde su aplicación inicial para la producción de automóviles, hasta abarcar todas las actividades empresariales productivas, de almacenamiento y de servicios, en particular en empresas multinacionales que emplean a miles de trabajadores y en PYME con menos de 30. En todos los casos se aplican los mismos principios y, por lo general, se usa la producción ajustada de la misma forma.



3



Principales técnicas y herramientas

Conviene comprender algunas de las principales técnicas y herramientas de producción ajustada para saber cómo y cuándo deben aplicarse. Entre ellas cabe destacar:

- TIEMPO TAKT
- FLUJO DE UNA SOLA PIEZA
- SISTEMAS BASADOS EN LA DEMANDA
- ANÁLISIS DEL FLUJO DE VALOR
- KANBAN
- NORMALIZACIÓN
- GESTIÓN VISUAL
- OCHO DESPERDICIOS
- METODOLOGÍA CINCO S ("5 S")
- INTERCAMBIO DE HERRAMIENTAS EN MENOS DE 10 MINUTOS
- MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

El objetivo es fomentar un entorno de producción o de servicios en el que cada trabajador conozca la respuesta a las preguntas siguientes: "¿en QUÉ trabajo ahora?", "¿de DÓNDE obtengo mi trabajo?", "¿CUÁNTO TIEMPO necesitaré para hacer mi trabajo?", "¿DÓNDE lo entrego?" y "¿CUÁNDO lo entrego?".

Los empleados deben conocer esa información sin necesidad de contar con actividades de programación o listas de envío o de expedición, y sin que ningún supervisor o gerente deba decirles lo que tienen que hacer.

3.1 TIEMPO TAKT

QUÉ	CUÁNDO
<ul style="list-style-type: none">▪ Cadencia a la que los clientes demandan unidades producidas▪ Concepto basado en el término alemán <i>Taktzeit</i>, que significa "cadencia" de los "ciclos"	<ul style="list-style-type: none">▪ Se utiliza para la planificación de la producción (y la capacitación de servicios en sectores no productivos)▪ Al precisar un ajuste preciso del ciclo de producción a las necesidades de los clientes
POR QUÉ	CÓMO
<ul style="list-style-type: none">▪ El ritmo de producción reviste importancia: un ritmo demasiado lento no satisfará la demanda de los clientes, y un ritmo demasiado rápido dará lugar a un exceso de producción▪ Permite flexibilidad de mano de obra en función de las necesidades de los clientes	<ul style="list-style-type: none">▪ Dividir el tiempo de trabajo disponible por turno entre la demanda de los clientes por turno▪ Mediante la adaptación de la demanda, la asignación de recursos adicionales o la realización de actividades de reingeniería de procesos para subsanar el problema

El tiempo Takt corresponde al ritmo de la demanda del cliente expresado en unidades de tiempo. En el sector productivo es necesario adaptar el ritmo de producción a la demanda del cliente, ya sea acelerando el proceso de producción o empleando a más personas para mantener el ritmo de producción en el nivel adecuado. En las empresas de servicios, por ejemplo en el caso de una compañía de seguros que gestione reclamaciones de clientes, el tiempo Takt reviste menos importancia como

3.2 FLUJO DE UNA SOLA PIEZA

QUÉ	CUÁNDO
<ul style="list-style-type: none">▪ Producción y desplazamiento de una pieza con respecto a un flujo ininterrumpido▪ Establecimiento de la siguiente etapa del proceso sólo si es necesario, cuando sea preciso	<ul style="list-style-type: none">▪ En los casos en los que haya varias etapas y estaciones de trabajo en cualquier proceso (productivo o de servicios)
POR QUÉ	CÓMO
<ul style="list-style-type: none">▪ Reduce el inventario (innecesario en el proceso de trabajo)▪ Reduce el tiempo de espera▪ El primer producto se termina antes▪ Se ocupa menos espacio▪ Se prima la calidad frente a la cantidad	<ul style="list-style-type: none">▪ Vincular los procesos entre sí▪ Reducir el tamaño de los lotes▪ Reorganizar los puestos de trabajo con arreglo a una configuración secuencial▪ Minimizar el flujo de componentes con objeto de desplazar una pieza en cada ocasión

El flujo de una sola pieza (flujo ininterrumpido o flujo de pieza única) es ideal para los sistemas de producción ajustada con miras a lograr un flujo ininterrumpido de productos entre estaciones de trabajo, a fin de reducir el tiempo de entrega y el trabajo en curso (WIP, por sus siglas en inglés, *Work In Progress*). Si se establece como analogía el agua que desciende por una colina, cualquier roca que se interponga en su camino la ralentizará y desviará, y es probable que se

acumule agua detrás de algunas rocas. Si se detectan y erradican los problemas (las rocas) y se modifica el esquema de producción, con frecuencia pueden asociarse procesos y eliminarse etapas (y, en consecuencia, reducir el tiempo de entrega y el WIP).

El flujo de una sola pieza puede ser difícil de aplicar. A menudo se ve dificultado por problemas como los que se enumeran en el Cuadro 1 siguiente.

- Mala disposición o inversión de procesos
- Compartición de recursos, en particular, máquinas específicas que constituyen el principal problema
- Competencias especializadas: sólo determinadas personas pueden hacer ciertos trabajos
- Tiempos de proceso dispares: máquinas secuenciales que trabajan a ritmos diferentes

Cuadro 1 - Problemas habituales que dificultan el flujo de una sola pieza

El flujo de una sola pieza fomenta asimismo otros beneficios en los sistemas de producción ajustada. Si se reducen los tamaños de los lotes a una sola pieza cada vez, un posible problema de calidad se identificará de inmediato y podrá abordarse fácilmente. Por el contrario, en la

producción por lotes, un error de calidad da lugar a que se descarte o vuelva a producirse todo el lote. Por otro lado, la vinculación de etapas de trabajo por grupos y la reducción del WIP entre etapas reduce el espacio necesario en las instalaciones de producción.

3.3 SISTEMAS BASADOS EN LA DEMANDA

QUÉ	CUÁNDO
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se establece un vínculo con las necesidades de los clientes ▪ Se repone sólo lo que ha consumido el siguiente proceso 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Para reducir el inventario, la duración de los ciclos o el plazo de entrega
POR QUÉ	CÓMO
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mejora el flujo de información y materiales ▪ Minimiza el inventario ▪ Permite detectar los principales problemas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mediante un pequeño suministro de materiales localizado ("supermercado") para cada lote ▪ Implantación de un sistema Kanban (de señalización)

Si no se puede crear un flujo de una sola pieza, los sistemas basados en la demanda vinculan la demanda del cliente directamente al proceso de que se trate. Al implantar una reserva de existencias en un sistema y controlar las

existencias en el mismo por Kanban (señal para reponer) se puede gestionar el inventario del sistema y reducir los plazos de entrega de forma eficaz.

3.4 ANÁLISIS DEL FLUJO DE VALOR

El análisis del flujo de valor (VSM, por sus siglas en inglés, *Value Stream Maps*) permite determinar el valor y los residuos de los procesos. Registra la información y los flujos de productos en el proceso de producción, en particular la realización del pedido de un cliente en el sistema de planificación, los pedidos realizados

a proveedores destacados y el tránsito de bienes a través de instalaciones, incluida su recepción y expedición. La elaboración de un VSM se rige por un orden establecido, como se muestra en la Figura 2. En la Figura 3 se presenta un ejemplo de VSM.



Figura 2 - Orden establecido para representar un VSM

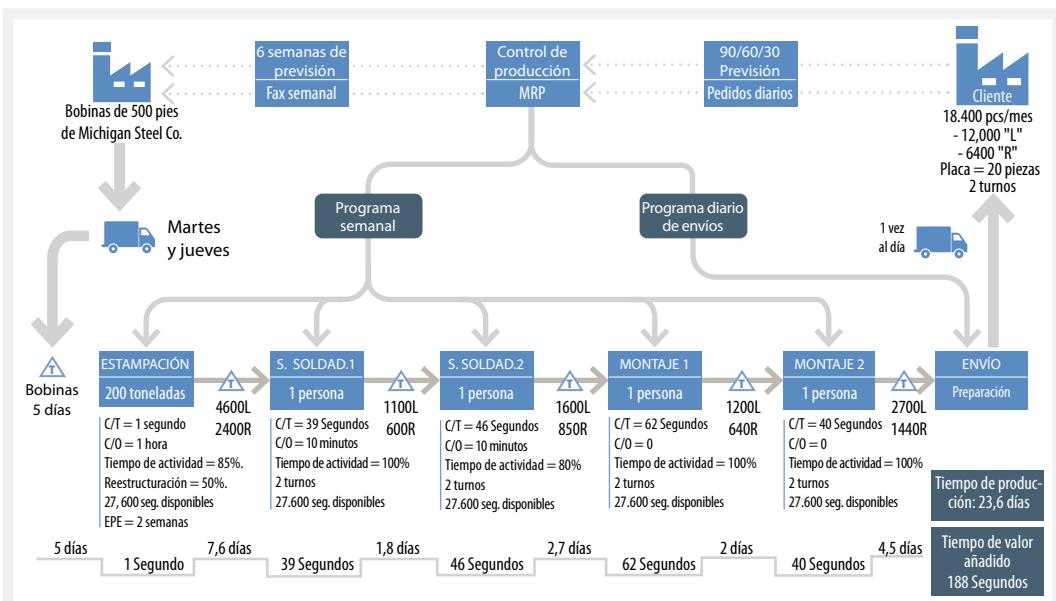


Figura 3 - Análisis del flujo de valor productivo (fuente: *Learning to See: Rothery y Shook*)

La ventaja del VSM es que permite analizar tanto el flujo de información como el flujo de productos en una empresa, y determinar problemas o residuos, ya sea en todo el sistema o para procesos específicos (en el apartado 3.8 se amplía información sobre residuos). En la actualidad se dispone de paquetes de simulación VSM para representar

3.5 KANBAN

QUÉ	CUÁNDO
<ul style="list-style-type: none"> Término japonés referente a un "tablero de señales" Señal que denota la necesidad de reabastecimiento para satisfacer la demanda de clientes 	<ul style="list-style-type: none"> Para limitar el trabajo en curso Cuando es necesario reponer existencias, en particular en entornos productivos
POR QUÉ	CÓMO
<ul style="list-style-type: none"> Garantiza que la línea de producción funcione adecuadamente y que se evite el paro de la línea También regula el nivel de existencias (supermercados) a lo largo de la línea de producción 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de dos contenedores (lleno o vacío); indicador de nivel; exposición de tarjeta Kanban La señal indica la cantidad de nuevos pedidos (y a menudo datos del proveedor)

Los sistemas Kanban se utilizan ampliamente en los procesos de producción para limitar el WIP y proporcionar una señal clara e inequívoca de

la productividad de diversas configuraciones del proceso de producción (visión del proceso futuro, a saber, del proceso mejorado). No obstante, todo VSM debe tener en cuenta las limitaciones del proceso de producción, la infraestructura disponible y el retorno de la inversión a tenor de la disponibilidad financiera.

La mayoría de las plantas de producción se basan en un sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés, *Entreprise Resource Planning*) o de planificación de necesidades de material (MRP, por sus siglas en inglés, *Materials Requirements Planning*) para prever la producción, que basan su análisis en el historial de demanda y las previsiones realizadas. Sin embargo, los sistemas Kanban están vinculados directamente a la demanda de los clientes y, en consecuencia, pueden indicar de forma más precisa las necesidades comerciales. Los "consumibles"

constituyen un punto de partida adecuado al estudiar la introducción de un sistema Kanban. Por lo general, los consumibles se excluyen en los cálculos relativos a la "lista de materiales", lo que fomenta la confianza en el sistema que se prevé implantar.

Los sistemas Kanban también pueden funcionar eficazmente en entornos no productivos, por ejemplo, indicando cuándo se necesita más papel o material de oficina; en ese caso, la colocación de una tarjeta de pedido Kanban entre las dos últimas cajas de papel indicará el momento de realizar un nuevo pedido.

3.6 NORMALIZACIÓN

QUÉ	CUÁNDO
<ul style="list-style-type: none"> Lista de procedimientos operacionales normalizados pormenorizados necesarios para realizar una tarea, o una serie de tareas 	<ul style="list-style-type: none"> Para realizar una operación de referencia normalizada a fin de introducir mejoras Para ayudar a los operadores a mejorar sus indicadores fundamentales de rendimiento
POR QUÉ	CÓMO
<ul style="list-style-type: none"> Garantiza que todos los trabajadores lleven a cabo su labor de la misma manera Reduce las probabilidades de error y garantiza una calidad constante Facilita la planificación de recursos necesarios Proporciona un documento didáctico para los nuevos trabajadores 	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo con cada operario para registrar cómo se gestiona el trabajo en curso en cada etapa del proceso mediante imágenes, con arreglo al tiempo previsto a tal efecto Algunos documentos de trabajo normalizados pueden ser muy detallados, incluido el número de etapas alcanzadas, la ubicación de las herramientas, etc.

El elemento fundamental de la producción ajustada es el trabajado normalizado (conocido en inglés como *standardization*). Si los operarios realizan su trabajo de forma diferente cada vez, la gestión empresarial sólo puede basarse en los resultados, no en la eficacia del trabajo. El trabajo normalizado pone de relieve la existencia de un proceso para todas las operaciones y, en caso de que se produzca un déficit de rendimiento, la responsabilidad recae en el proceso, no en el operario.

La normalización contribuye a fomentar la coherencia con respecto a la calidad y al ritmo de producción, y permite determinar deficiencias

en materia de competencias y necesidades deformación. Si los trabajadores siempre trabajan de la misma manera, pueden propiciar mejoras normativas y sentar las bases de una mejora ininterrumpida. Una de las críticas que suele formularse en relación con el trabajo normalizado es que "las personas no son máquinas", y que el trabajo normalizado exime al operario de toda responsabilidad. Sin embargo, en realidad el trabajo normalizado capacita al operario y le proporciona un marco de trabajo estable para trabajar y la oportunidad de mejorar el proceso productivo, con las consiguientes ventajas de calidad, fiabilidad y rendimiento.

- 
- SISTEMA DE DOS CONTENEDORES (UN CONTENEDOR VACÍO ES LA SEÑAL PARA VOLVER A COMPRAR, MIENTRAS SE CONSUME UN CONTENEDOR LLENO)
 - ESPACIO (PARA SEÑALAR QUE DEBE SUPLIRSE CON ALGO)
 - TARJETA KANBAN QUE OFRECE DATOS ESPECÍFICOS SOBRE EL PRODUCTO O EL PROVEEDOR, LA CANTIDAD DE NUEVOS PEDIDOS Y, EN OCASIONES, LA UBICACIÓN DEL LUGAR PARA LOS RESIDUOS Y EL TIPO DE EMBALAJE, ETC; ES NECESARIA

Cuadro 2 – Señales más utilizadas en los sistemas Kanban

3.7 GESTIÓN VISUAL

QUÉ	CUÁNDO
<ul style="list-style-type: none"> Indicadores visuales para reflejar "rápidamente" el estado de trabajo, retrasos o problemas Determinación de los avances registrados en el trabajo con respecto a los objetivos fijados 	<ul style="list-style-type: none"> Para comprobar el rendimiento y verificar lo que funciona y lo que precisa atención
POR QUÉ	CÓMO
<ul style="list-style-type: none"> Los operadores necesitan conocer sus avances con respecto a los objetivos fijados Se alienta a los operadores a identificar los problemas que dificultan el cumplimiento de los objetivos fijados Aumenta la concienciación de los directivos sobre esos problemas y las acciones que cabe llevar a cabo 	<ul style="list-style-type: none"> Producción: cómputos horarios, tableros de rendimiento, luces Andon, parada de línea y acumulación de inventario Servicio: tableros de rendimiento con IFR, medición de avances realizados, etc. Los sistemas informáticos tienden a ocultar los parámetros de medición e impiden las notificaciones en tiempo real

La gestión visual permite conocer el estado del trabajo de forma rápida. En la práctica, se realiza mediante gráficos "horarios", indicadores de rendimiento de color rojo o verde, información sobre los avances con respecto a los indicadores fundamentales de rendimiento (IFR, también conocidos como KPI, por sus siglas en inglés, *Key Performance Indicators*) de grupo y ejemplos de prácticas idóneas presentadas en gráficos cerca del lugar de trabajo. Se recomiendan los tableros de rendimiento para evaluar el rendimiento horario o diario con respecto al objetivo fijado. En una línea de producción pueden utilizarse luces (señales) Andon para indicar la ubicación y el estado de zonas problemáticas o cuellos

QUÉ	CUÁNDO
<ul style="list-style-type: none"> Indicadores visuales para reflejar "rápidamente" el estado de trabajo, retrasos o problemas Determinación de los avances registrados en el trabajo con respecto a los objetivos fijados 	<ul style="list-style-type: none"> Para comprobar el rendimiento y verificar lo que funciona y lo que precisa atención
POR QUÉ	CÓMO
<ul style="list-style-type: none"> Los operadores necesitan conocer sus avances con respecto a los objetivos fijados Se alienta a los operadores a identificar los problemas que dificultan el cumplimiento de los objetivos fijados Aumenta la concienciación de los directivos sobre esos problemas y las acciones que cabe llevar a cabo 	<ul style="list-style-type: none"> Producción: cómputos horarios, tableros de rendimiento, luces Andon, parada de línea y acumulación de inventario Servicio: tableros de rendimiento con IFR, medición de avances realizados, etc. Los sistemas informáticos tienden a ocultar los parámetros de medición e impiden las notificaciones en tiempo real

de botella, pues un paro de la línea o la acumulación de inventario es un claro indicio de un problema. En las empresas de servicios, los sistemas informáticos pueden registrar información en tiempo real, si bien tienden a agregar la información en informes diarios o semanales sobre el rendimiento en la última semana o el último mes. En esas empresas, la anotación de parámetros de medición diarios y el reflejo de los IFR en una pizarra para revisarse diariamente y utilizarse como complemento de los parámetros agregados disponibles en los sistemas ERP, MRP o CRM, constituye una práctica idónea.

3.8 OCHO DESPERDICIOS

Habida cuenta de que la producción ajustada se basa en maximizar el valor de una empresa identificando y suprimiendo residuos, en primer lugar cabe comprender qué se entiende por residuos. El valor es algo que se genera, y en consecuencia, puede cobrarse al cliente; todo lo demás son residuos. Por otro lado, en una empresa se realizan actividades que no se ajustan directamente a esa relación valor-residuos, aunque mediante la realización de análisis se pueden identificar y encontrar formas de delimitarlas.

Por ejemplo, el envasado de productos durante diversas etapas de producción para evitar que se dañen es favorable, pero con arreglo a una relación idónea valor-residuos, podría suceder que el cliente no esté dispuesto a pagar por el envasado durante el proceso de producción. Por lo tanto, si se combinan varias etapas de dicho proceso, se crea un flujo de trabajo y se evita la necesidad de un nuevo envasado, se podrán reducir los residuos a lo largo de dicho proceso productivo.

Análogamente, en procesos administrativos (por ejemplo, un proceso de compra), al analizar un caso específico se puede identificar el número de traspasos de tareas entre equipos que provocan retrasos o plantean incertidumbre, o el número

de aprobaciones necesarias y, en consecuencia, identificar los residuos asociados a los períodos de espera. Un acrónimo recordatorio de ocho tipos de desperdicios es TIM Woods, por sus siglas en inglés, como se muestra en el Cuadro 3.

Acrónimo	Deficiencia	Descripción
T	Transporte (Transport waste)	Traslado de mercancías o productos en planta o de un lugar a otro, doble manipulación de productos, o costes de envío. Por ejemplo, varias etapas de recepción o retirada de productos, almacenamiento de productos en curso de elaboración o gran distancia entre las mercancías almacenadas y el lugar de utilización de las mismas.
I	Inventario (Inventory)	Procesamiento por lotes e inventario en cualquier etapa del proceso de producción. El inventario constituye una deficiencia, y aunque pueda precisarse en algunas etapas de dicho proceso, disponer de más inventario no contribuye a que el cliente pague más por el producto.
M	Movimiento (Motion)	Deficiencias en determinadas etapas del proceso de producción, en particular en relación con actividades de elevación, plegado o acceso. También cabe destacar la búsqueda de piezas, herramientas, información o archivos. Y en las empresas de servicios, la copia de información en varios sistemas informáticos o el desplazamiento a equipos ofimáticos (impresoras, despachos, salas de servidores, salas de café, fuentes de suministro de agua, etc.).
W	Tiempo de espera (Waiting)	Espera para obtener información de trabajo o productos, o concluir un ciclo operacional en curso. En una empresa de servicios, cabe considerar la espera para obtener información de clientes u otros departamentos, realizar comprobaciones, tomar decisiones y realizar aprobaciones. También se incluyen los tiempos de respuesta del sistema informático.
O	Sobreproducción (Overproduction)	Producir más de lo necesario para la siguiente etapa de un proceso o antes de lo necesario, realizar actividades antes de que sean precisas, o efectuar una selección con demasiada antelación. En el sector industrial, las deficiencias que conlleva la sobreproducción pueden provocar nuevas deficiencias, alterando el ritmo de trabajo habitual y creando tensión en la línea de producción, al obligar a un reajuste de los procesos siguientes.
R	Retrabajos (Over processing)	Comprobaciones de productos innecesarias, inspecciones redundantes y nuevo envasado de productos en curso de elaboración. En el sector de servicios, cabe destacar el exceso de firmas, la duplicación de tareas administrativas y la repetición de tareas en etapas ulteriores del proceso de producción.
D	Defectos (Defects)	Defectos de calidad en el producto, errores que requieren repetir la producción o desechar productos, selección errónea en procesos de envío, prestación ineficaz de servicios, o toda información ambigua que deba verificarse. En particular, cualquier acción que remita a un operador a una etapa de trabajo previa para efectuar una comprobación, antes de pasar a la siguiente etapa.
S	Conocimiento no utilizado (Skills)	Operadores altamente cualificados (o remunerados) que realizan tareas poco cualificadas. Cabe destacar trabajadores con restricciones de autoridad, actividades de gestión innecesarias, o personas con formación o herramientas empresariales inadecuadas para las tareas que deben acometer.

Cuadro 3 – Acrónimo recordatorio de ocho posibles desperdicios

La mejor manera de determinar la existencia de posibles deficiencias en los procesos productivos de una empresa es formular preguntas análogas a las siguientes: "Si hicieramos más de esto, o tuviéramos más de esto, ¿podríamos cobrar más al cliente por ello?". Si la respuesta no es un

"Sí" rotundo, podría tratarse de una deficiencia y se tendrían que encontrar formas de suprimirla.

Otras metodologías cuya utilización cabe considerar al implantar programas de producción ajustada son las siguientes: 5S, SMED y TPM.

3.9 CINCO S ("5 S")

La metodología "5S" se basa en la aplicación de una serie de herramientas para definir la producción ajustada y alentar a su utilización en el lugar de trabajo. Por lo general, se aplica a procesos productivos en las etapas finales de la implantación de sistemas de producción

ajustada (pese a que dicha producción ajustada es eficaz también en entornos de oficina), como elemento de perfeccionamiento del proceso e trabajo.

Los términos de la metodología 5S proceden del idioma japonés, y se describen a continuación.

1 ORGANIZACIÓN - *Seiri*

En el lugar de trabajo, cabe separar los artículos necesarios de los innecesarios. Esta clasificación puede contribuir a crear un espacio más ordenado en el que sea más sencillo evaluar el estado de las tareas y facilitar el trabajo de los operarios. Una herramienta que puede ayudar al respecto es la metodología "Red Tag" (etiqueta roja).

2 ORDEN - *Seitō*

Conviene garantizar que los operarios dispongan de todo lo necesario en su puesto de trabajo, con espacio reservado para ello. Puede establecerse como analogía la labor de un cirujano en su quirófano. Al operar a un paciente desea tener al alcance de la mano todos los instrumentos necesarios, dispuestos por orden lógico, sin necesidad de ir a buscarlos.

Es útil pensar en las cosas que se necesitan a diario y disponerlas en el puesto de trabajo. Los objetos que sólo se necesitan una vez por semana pueden almacenarse en una zona común para los trabajadores, y los que se usan una vez por mes deben colocarse cerca y etiquetarse como corresponda.

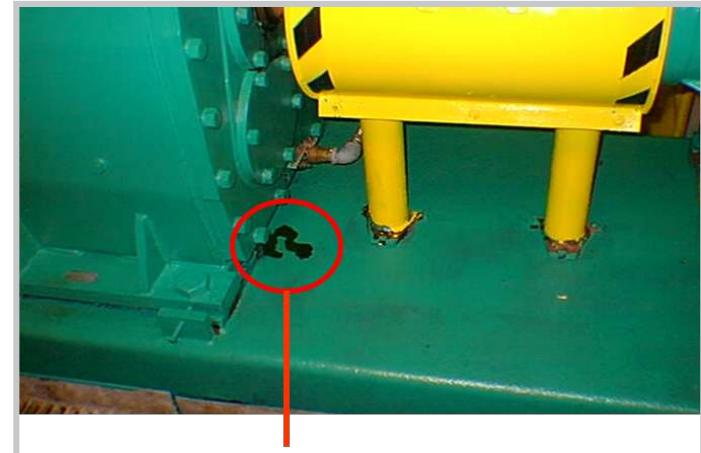
Lo ideal es que cada objeto esté en su sitio, con espacio para cada uno de ellos. Los tableros de herramientas son un buen ejemplo de cómo colocar adecuadamente todos los objetos en el puesto de trabajo.



Figura 4 – Tablero de herramientas en el que falta un par de alicates. Fuente: www.Plasteel.az

3 LIMPIEZA - *Seiso*

Este concepto no consiste tanto en sacar brillo como en garantizar que el lugar de trabajo, los equipos y las herramientas estén limpios y debidamente dispuestos. Por ejemplo, mientras un operario limpia un taladro o una bomba, puede examinar posibles desgastes susceptibles de provocar un funcionamiento inadecuado ulteriormente, o detectar si la bomba tiene fugas. Esos problemas potenciales se pueden notificar al equipo de mantenimiento o de ingeniería a fin de garantizar que no se produzcan averías.



El origen de la fuga de aceite sólo se detecta porque la carcasa de la bomba se había limpiado previamente al aplicar la metodología Seiso 5S. Fuente: TXM.com

Figura 5 – Ejemplo de las ventajas que brinda la aplicación de la metodología Seiso 5S

4 ESTANDARIZACIÓN - *Seiketsu*

Una vez que el puesto de trabajo se ha ordenado adecuadamente, debe establecerse ese estado como "norma". Pueden mostrarse fotografías explicativas al respecto en el puesto de trabajo, incluida una serie de viñetas.

5 DISCIPLINA - *Shitsuke*

La tarea más difícil de las metodologías 5S es mantener la pertinencia de las primeras cuatro metodologías y velar por que no se retomen antiguos hábitos inadecuados. Transformar prácticas idóneas en costumbre requiere tiempo y esfuerzo, si bien una forma muy eficaz de lograrlo es realizar una auditoría semanal o bisemanal del lugar de trabajo. Sin embargo, los resultados a largo plazo se logran de manera más sencilla si todos los empleados tienen una comprensión cabal de las ventajas que brindan las nuevas medidas adoptadas e introducen los cambios pertinentes al constatar que ello redunde también en beneficio de ellos mismos, no sólo de su empresa. La labor de los operarios se rige con arreglo a las normas establecidas y al resultado de la auditoría para cada zona, y las propuestas de mejora y el nivel rendimiento se reflejan en una ubicación central y se revisan periódicamente. A tal efecto, es primordial que la dirección haga cumplir la normativa en todo momento y preste apoyo siempre que sea posible.

TABLA DE AUDITORÍA 5S - PLANTA DE PRODUCCIÓN

S.N.	1S: Organización	PUNTOS	NIVEL				
			0	5	10	15	20
1	Limpieza del suelo: supresión de polvo, aceite, barro, etc.	20					
2	Limpieza general del interior de la fábrica, en particular de paredes, pilares y tuberías, sin incrustaciones, marcas de descamación de la pintura, irregularidades, etc.	20					
3	Limpieza de contenedores y palés, en particular de polvo y aceite. Pintura de contenedores o palés, exentos de daños.	20					
4	Limpieza de las piezas, en particular de polvo y aceite (estado seco).	20					
5	Limpieza de plantillas y dispositivos, en particular de polvo y aceite.	20					
6	Separación de materiales no utilizados o de excedentes, lejos de la zona de trabajo.	20					
7	Disposición de piezas en palés, contenedores y bandejas sin mezclarlas.	20					
	TOTAL, 1S	140					
PUNTUACIÓN 1S = (puntuación TOTAL X 100 /140)							
S.N.	2S: Orden	De	0	5	10	15	20
1	Pasillos con marcado claro y sin materiales en ellos.	20					
2	Utilización de palés, contenedores y bandejas adecuados.	20					
3	Colocación de palés, contenedores y bandejas adecuados en el lugar previsto a tal efecto.	20					
4	Colocación de los componentes adecuados en los contenedores y palés pertinentes.	20					
5	Utilización de plantillas calibradas únicamente.	20					
6	Ubicación de extintores en un lugar fijo.	20					
7	Uso de un tablero de herramientas adecuado para las mismas.	20					
8	Almacenamiento adecuado de útiles de limpieza (escobas, cepillos, paletas y útiles de limpieza en altura).	20					
	TOTAL, 2S	160					
PUNTUACIÓN 2S = (puntuación TOTAL X 100 /160)							
S.N.	3S: Limpieza	De	0	5	10	15	20
1	Colocación de componentes en contenedores o bandejas sin que se toquen entre sí.	20					
2	Ubicación adecuada y limpieza de contenedores y carros.	20					
3	Orden y limpieza de las instalaciones para el desplazamiento de materiales.	20					
4	Limpieza generalizada de la planta y de los equipos.	20					
5	Establecimiento de un programa de mantenimiento preventivo útil y eficaz.	20					
6	Implantación de un sistema de recogida de virutas y desechos.	20					
	TOTAL, 3S	120					
PUNTUACIÓN 3S = (puntuación TOTAL X 100 /120)							
S.N.	4S: Estandarización	De	0	5	10	15	20
1	Fácil obtención de herramientas y documentos (previa solicitud de los mismos).	20					
2	Disponibilidad de luces Andon en las máquinas de forma eficaz.	20					
3	Ubicación de tableros de herramientas y disponibilidad de útiles de limpieza y mantenimiento eficaces.	20					
4	Facilidad para examinar e inspeccionar máquinas y equipos.	20					
5	Fijar de antemano una cantidad por contenedor o palé.	20					
	TOTAL, 4S	100					
PUNTUACIÓN 4S = (puntuación TOTAL X 100 /100)							
S.N.	5S: Disciplina	De	0	5	10	15	20
1	Concienciación sobre los requisitos "5S" y las funciones pertinentes (preguntas a 2-3 personas).	20					
2	Implantación de normas de funcionamiento eficaces (hoja de operaciones e instrucciones de trabajo).	20					
3	Realización de actividades con arreglo al calendario previsto (auditorías, acciones relativas a productos NC, etc.).	20					
4	Implantación de un sistema de control visual adecuado y legible (nombre de zonas y letreros).	20					
	TOTAL, 5S	80					
PUNTUACIÓN 5S = (puntuación TOTAL X 100 /80)							

Figura 6 – Las auditorías 5S deben realizarse para cada zona; la puntuación relativa a los equipos se muestra en un cuadro de rendimiento. Fuente: elaboración manuscrita

3.10 SMED

El Intercambio de herramientas en menos de 10 minutos (SMED, por sus siglas en inglés, *Single Minute Exchange of Die*) es una técnica destinada a reducir drásticamente la duración del intercambio de equipos en la línea de producción. Su principio fundamental es maximizar el número de etapas "externas", es decir, las que se pueden llevar a cabo mientras la línea de producción está en marcha, y realizar las demás etapas

de la forma más sencilla y eficiente posible. El término SMED tiene su origen en el sector de la automoción, en el que el objetivo era lograr tiempos de intercambio de "un solo dígito de minutos" (es decir, inferiores a diez minutos) en las plantas de producción de automóviles, tarea que previamente precisaba horas. El proceso necesario se describe a continuación.



Figura 7 – Proceso SMED

PROCESO DE CAMBIO DE PRENSA - PRENSA #1

ETAPA DEL PROCESO	RETIRAR LAS PROTECCIONES	DESCENDER LA HERRAMIENTA A LA PLACA INFERIOR	LIBERAR LAS FIJACIONES DE HERRAMIENTAS	SUPRIMIR LA HERRAMIENTA E INCORPORAR UNA NUEVA	AJUSTAR LA VELOCIDAD	FIJAR Y AJUSTAR LA HERRAMIENTA SUPERIOR	OBTENER Y AJUSTAR LA HERRAMIENTA INFERIOR	ENGRASAR PIEZAS Y AJUSTAR LA PLACA DE PRENSADO	COMPROBAR AJUSTE SUPERIOR Y LAS HERRAMIENTAS INFERIORES	PREPARAR LOS DESPLAZAMIENTOS INICIALES	LUBRICAR Y REALIZAR DOS PRENSADOS DE PRUEBA
DURACIÓN	2'30	4'50	3'0	7'30	9'30	4'40	8'40	6'45	3'15	12'	2'
			7'20	10'20	17'50	27'20	32'	40'40	47'25	50'40	62'40
ETAPA INTERNA O EXTERNA	I	I	I	I/E	I	I	I	I	I	E	I
POSIBLES MEJORAS Y OBSERVACIONES	AJUSTE DE LIBERACIÓN RÁPIDA (LLAVE DE PANEL)	MANTENER LA PLACA * JUNTO A LA HERRAMIENTA ¡INTERRUPCIONES!	CARRO* + HERRAMIENTAS CERCA DE LA PRENSA	POSICIÓN * POR ETAPAS INTERRUPCIÓN	SOLUCIONES DE GATO NEUMÁTICO (COJÍN DE PRENSA)	LOCALIZAR HERRAMIENTAS *	UBICACIÓN DE LA PLACA DE PRENSADO	PRE-PREPARACIÓN EN EL CARRO			
TIEMPO AHORRADO	1'	2'40		2'	4'	3'30	3'	1'15		9'	
			3'40		5'40	9'40	13'10	16'10	17'25		26'25
COMPROBAR EL AJUSTE DE LAS HERRAMIENTAS SUPERIORES E INFERIORES	PREPARAR LOS DESPLAZAMIENTOS INICIALES	LUBRICAR Y REALIZAR DOS PRENSADOS DE PRUEBA	COMPROBAR LA CALIDAD Y EFECTUAR AJUSTES	REALIZAR OTROS DOS PRENSADOS DE PRUEBA Y COMPROBAR LA CALIDAD	MEDIR, COMPROBAR Y AJUSTAR	PRENSAR UNA PIEZA (CONTROL FINAL)	REPOSICIONAR PROTECCIONES Y AMORTIGUADORES	PREPARAR LA PRODUCCIÓN			
3'15	12'	2'	2'40	0'50	2'00	0'40	4'50	0'30			
50'40	62'40	64'40	67'20	68'10	70'10	70'50	75'40	76'10			
I	E	I	I	I	I	I	I	I			
PREPARACIÓN PREVIA INICIAL EN EL CARRO	AGITADOR 3'		PLANTILLA PARA MANTENER PIEZAS JUNTAS A EFECTOS DE MEDICIÓN 1'	PLANTILLA PARA MANTENER PIEZAS JUNTAS AL MEDIR		¡INTERRUPCIONES! 3'	AJUSTE DE LIBERACIÓN RÁPIDA (LLAVE DE PANEL)				
9'			1'		1'			4'			
26'25			27'25		28'25			32'25			

Figura 8 – Cuadro de registro de SMED. Fuente: Applied Lean Consulting

A continuación se enumeran las ventajas de la aplicación de la metodología SMED:

- REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS LOTES (en consonancia con el objetivo del flujo de una sola pieza);
- MEJORA DE LA RESPUESTA A LA DEMANDA DE LOS CLIENTES (los lotes más pequeños permiten una programación más flexible);
- MENOR NIVEL DE INVENTARIO (los lotes más pequeños dan lugar a menores niveles de inventario).

3.11 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

El mantenimiento productivo total (TPM, por sus siglas en inglés, *Total Productive Maintenance*) constituye una metodología que permite a las empresas gestionar su planta de producción

para evitar averías, y en consecuencia, optimizar el funcionamiento de la maquinaria y las líneas de producción.

El análisis de los fallos de las máquinas a lo largo del tiempo pone de manifiesto una curva normalizada con forma de "bañera": fallos en la puesta en marcha (fallos iniciales debidos a

especificaciones o diseños deficientes), fallos durante el funcionamiento (fallos aleatorios de los componentes) y fallos por desgaste.

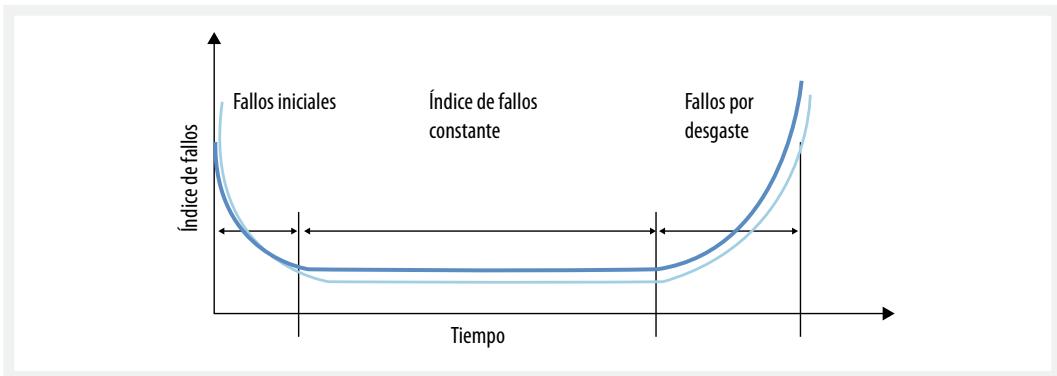


Figura 9 – Curva evolutiva de fallos con forma de bañera. Fuente: Applied Lean Consulting

Cabe destacar los dos tipos principales de actividades TPM enumerados a continuación:

- 1 MANTENIMIENTO PLANIFICADO, que tiene lugar antes de que se produzcan fallos y puede ser preventivo, predictivo o de mejora; y
- 2 MANTENIMIENTO NO PLANIFICADO, para subsanar fallos.

Si se examinan los lugares en los que se producen los fallos, y sus condiciones, se puede prevenir averías y comprobar de forma eficaz si

Tipo de mantenimiento	Acción requerida	Responsabilidad	Ejemplo de línea de producción
CONTROLES PREVENTIVOS POR EL OPERADOR	Por hora, día y semana, en el marco de la iniciativa 5S	Operador (mantenimiento autónomo)	Limpieza y comprobación de daños y del estado de lubricación
CONTROLES PREVENTIVOS POR EL DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO	Según el programa de mantenimiento	Departamento de mantenimiento	Revisiones de servicio o sustitución de rodamientos a intervalos normalizados
PREDICTIVO	Ánalisis de ruidos, niveles de temperatura o vibraciones inusuales	Notificado por el operador en su informe diario. Responsabilidad del Dpto. de Mantenimiento	Desgaste prematuro o ruido que indica un futuro desgaste de rodamientos
REALIZACIÓN DE MEJORAS	Mejora del funcionamiento	Departamento de Ingeniería	Mejora de los rodamientos para prolongar su vida útil
CORRECTIVO	Reparación de averías	Departamento de Mantenimiento	Fallo de rodamientos en las máquinas

Figura 10 – El Mantenimiento productivo total es responsabilidad de muchos departamentos de la empresa, de ahí su nombre. Fuente: Applied Lean Consulting

En las actividades de producción ajustada, los operadores y los departamentos de mantenimiento e ingeniería deben trabajar en equipo para controlar la situación y compartir

la responsabilidad de plantear y solucionar problemas. En la Figura 11 se representa la aplicación de la metodología TPM con respecto a la producción ajustada.

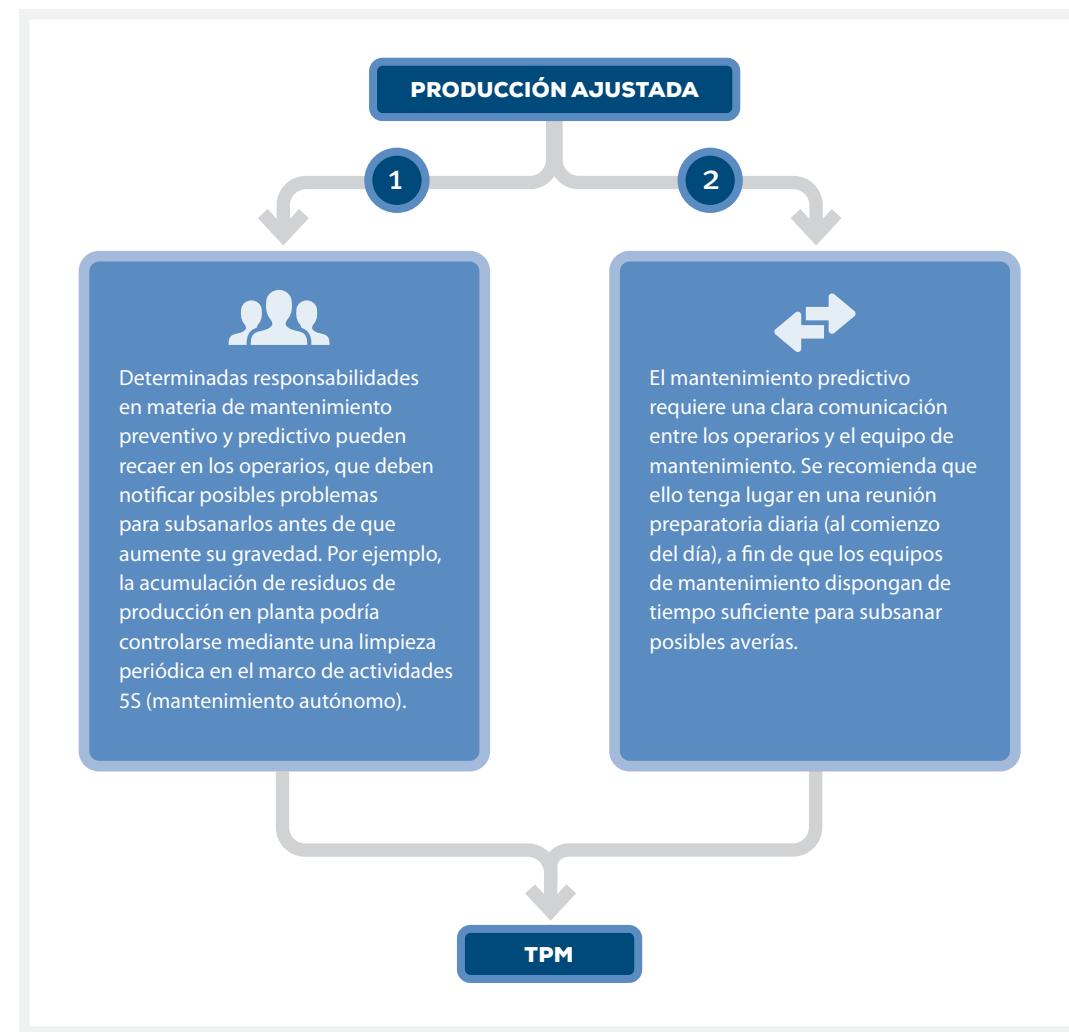


Figura 11 – Aplicación de la metodología TPM con respecto a la producción ajustada

La metodología de mantenimiento productivo total asigna la responsabilidad de mantener la línea de producción en funcionamiento a varios equipos. Los operarios, a través de actividades 5S, llevan a cabo un mantenimiento autónomo y notifican situaciones inusuales en el marco de las actividades de mantenimiento predictivo en su reunión preparatoria diaria.

El Departamento de mantenimiento lleva a cabo su labor, incluidas sustituciones programadas, con arreglo a los intervalos de servicio establecidos, si bien su prioridad es subsanar averías. Los equipos de ingeniería se centran en la introducción de mejoras a fin de reducir averías o aumentar la velocidad de la línea de producción.

3.12 CREACIÓN DE UNA CULTURA DE PRODUCCIÓN AJUSTADA

El funcionamiento de la producción ajustada en toda la organización de forma eficaz requiere tiempo y esfuerzo. El desarrollo de una cultura propicia para ello precisa el establecimiento de relaciones de confianza y de empoderamiento a nivel orgánico. A tal efecto, es primordial desarrollar canales de comunicación entre los distintos niveles de la empresa.

En el siguiente diagrama se muestra la forma de analizar los procesos para desarrollar prácticas idóneas. La gestión y los métodos aplicados deben pasar a ser habituales y constituir la base de los comportamientos que se promuevan en la empresa. Los comportamientos en toda la organización determinarán ulteriormente la cultura de la organización.

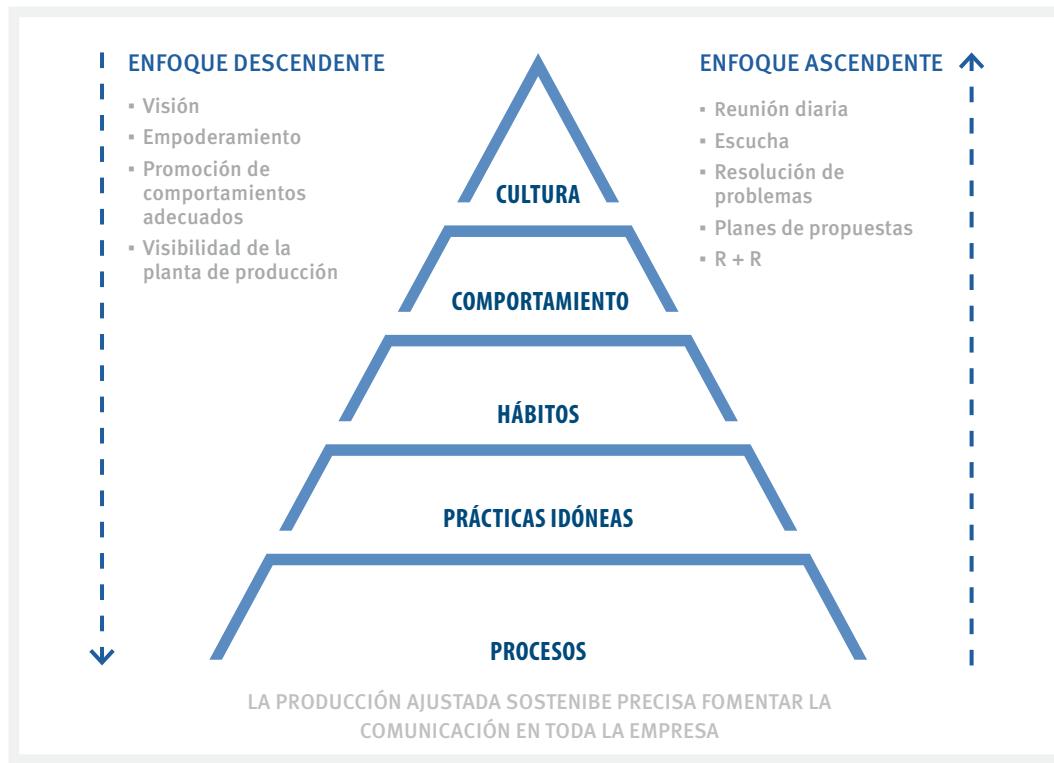


Figura 12 – Modelo de producción ajustada sostenible. Fuente Applied Lean Consulting

Entre las actividades de liderazgo para promover la producción ajustada cabe destacar la difusión de información a niveles oficial y oficioso en toda la empresa (incluida la visión de la empresa), el rendimiento con respecto a los objetivos, la adopción de iniciativas específicas y la identificación de los casos en los que se precise apoyo.

Las actividades de las empresas que han implantado la producción ajustada en su planta

de producción incluyen la celebración de una reunión de trabajo diaria (encuentro diario) en equipos para debatir el rendimiento con respecto a los objetivos fijados, la obtención de información sobre los problemas que dificultan a operarios o equipos el cumplimiento de sus objetivos, la planificación de los recursos diarios, la resolución de problemas, la formulación de propuestas y la definición de programas de recompensa o de reconocimiento.



Soluciones 4IR para aumentar la eficiencia de la producción ajustada

De todas las tecnologías 4IR, las seis soluciones que se enumeran a continuación son las que más contribuyen a aumentar la eficiencia de la producción ajustada (*lean manufacturing*). Dichas soluciones han propiciado un aumento sustancial de la eficiencia de dicha producción, y han dado lugar a Lean 4.0, que ofrece un nivel más elevado de conectividad, productividad, transparencia y eficiencia, y fomenta la reducción de residuos y una mejor funcionalidad. A continuación se describen pormenorizadamente esas soluciones, que facilitan la transformación de la producción a escala mundial.

4.1 IIoT: FOMENTO DE CADENAS MUNDIALES DE SUMINISTRO INTERCONECTADAS CON INCORPORACIÓN DE FUNCIONES DE TRAZABILIDAD

La pandemia de Covid-19 ha puesto de manifiesto las amplias deficiencias de las cadenas mundiales de valor (CMV), esenciales para los procesos productivos a escala mundial. La mayor deficiencia de las CMV es su falta de interconectividad y trazabilidad. Muchas actividades de las mismas se siguen llevando a cabo de forma manual, lo que da lugar a errores innecesarios y a una ineficacia no deseada; cada sección de las CMV sigue constituyendo un elemento aislado, en el que no se comparte información y no existe la transparencia necesaria; las deficiencias de funcionamiento a lo largo de las cadenas de valor no pueden predecirse ni localizarse, puesto que no cuentan con ningún sistema de supervisión, lo que provoca numerosas pérdidas de tiempo y recursos. Todo ello dificulta en gran medida la producción ajustada, así como el aumento de la productividad y la rentabilidad en la mayoría de las plantas de producción de todo el mundo, en particular en los países en desarrollo.

Internet de las Cosas Industrial (IIoT) constituye la mejor herramienta para subsanar esas deficiencias. La IIoT comprende el conjunto de sensores e instrumentos, entre otros dispositivos, interconectados en red con aplicaciones industriales informáticas, incluidas las de fabricación y gestión energética. Esa conectividad facilita la recopilación, el intercambio y el análisis de datos, y permite aumentar la productividad y la eficiencia, y lograr otros beneficios económicos¹. La IIoT conjuga el uso de activos esenciales y la realización de análisis predictivos y prescriptivos avanzados con la labor de trabajadores industriales cualificados², a fin de implantar sistemas que permitan supervisar, recopilar, intercambiar, analizar y proporcionar datos de gran utilidad de una manera que no era posible hasta ahora.



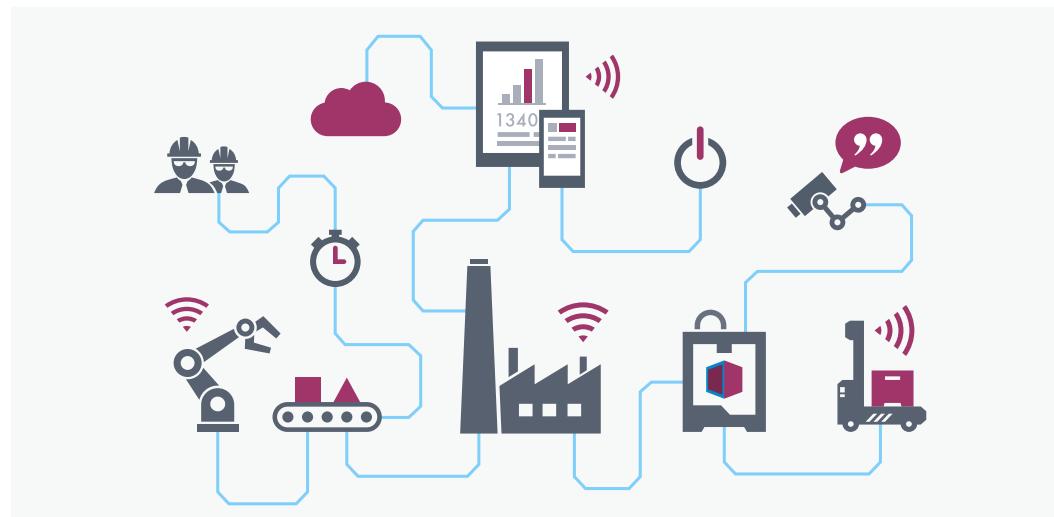
Figura 13 – La IIoT facilita la recopilación, el intercambio y el análisis de datos a escala mundial

1) The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework, Boyes, Hugh; Hallaq, Bil; Cunningham, Joe; Watson, Tim (October 2018).

2) What is the Industrial Internet of Things (IIoT)?, Colin Parris, <https://www.ge.com/digital/blog/what-industrial-internet-things-iiot>

Los sensores desplegados en la IIoT desempeñan una función esencial en la estructura de esa red de flujo de información. Todos los elementos de la cadena de valor se conectan sin fisuras, lo que permite intercambiar información, realizar tareas de supervisión e interactuar constantemente en tiempo real. Ello facilita sustancialmente la determinación de los flujos de valor de la producción ajustada con respecto a la información que recaban los dispositivos conectados, en particular sobre experiencias de los usuarios mediante productos de índole diversa a fin de ofrecer funciones sin precedentes destinadas a la mejora de los procesos de producción, la reducción de residuos y la incorporación de funciones de trazabilidad. De todas las tecnologías relativas a la producción ajustada, la IIoT es la que tiene una mayor repercusión, al generar un flujo de datos de gran utilidad para mejorar las estrategias de producción ajustada y efectuar los ajustes necesarios a medida que se precisen³. Las herramientas predictivas basadas en información compartida en tiempo real permiten identificar y subsanar posibles deficiencias en la fase inicial, a fin de minimizar las pérdidas de tiempo y los costes. Sobre la base de la IIoT, la producción ajustada sigue

constituyendo la etapa fundamental del ciclo de vida útil del producto, y es de gran utilidad para facilitar a las empresas la optimización de la toma de decisiones, la supresión de residuos y el aumento de la eficiencia. Otra ventaja destacada de la IIoT en relación con la producción ajustada es que permite el establecimiento de sistemas basados en la demanda de forma más sencilla y eficaz. Con objeto de lograr un flujo de trabajo más eficiente, cabe establecer dichos sistemas basados en la demanda por medio de la herramienta de Kanban, a fin de minimizar el inventario y los productos en fase de producción, al tiempo que se facilita la producción y la entrega en los casos en que sean necesarias. Con respecto a la anterior metodología Kanban, basada en la utilización de tablero y lápiz, la IIoT propicia nuevos sistemas basados en la demanda que incorporan plena interconectividad al compartir datos de forma instantánea, y que son explotados sin ninguna influencia humana. Los datos que recaban los dispositivos IIoT se aprovechan para coordinar situaciones complejas con múltiples flujos interconectados que no pueden integrarse de ninguna otra manera⁴, a fin de prever la demanda, identificar deficiencias de funcionamiento y reducir residuos.



3) Lean, the Internet of Things and Manufacturing, <https://www.gray.com/insights/lean-the-internet-of-things-and-manufacturing/>

4) Supercharging Lean with IoT, <https://www.industryweek.com/operations/continuous-improvement/article/22006090/supercharging-lean-with-iot>

Cabe destacar una gran cantidad de historias de éxito que ponen claramente de manifiesto las ventajas que brinda la utilización conjunta de la producción ajustada y la IIoT. El tiempo de espera puede determinarse mediante sensores de movimiento, capaces de poner en marcha sistemas de resolución de problemas de forma automatizada si los períodos de espera son demasiado largos. Disney utiliza esa tecnología para reducir el tiempo de espera en las atracciones de sus parques temáticos⁵. El inventario puede gestionarse de forma eficaz mediante sensores instalados en determinadas existencias y el uso

de coordenadas GPS, lo que simplifica el cómputo de ciclos y aumenta la visibilidad del inventario a lo largo de toda la cadena de suministro. De forma análoga, los sensores en tiempo real evitan la producción en exceso al predecir la posible demanda y mantener los niveles de existencias con arreglo a umbrales aceptables. Cualquier deficiencia que dificulte la mejora de la calidad puede ser identificada de forma inmediata mediante sensores de IIoT, una vez que los procesos de producción normalizados dejen de observarse, lo que permite abordar las deficiencias de oportuna y aumentar la satisfacción del cliente.

4.2 ANÁLISIS BASADO EN MACRODATOS: SOLUCIONES INTELIGENTES Y ADAPTABLES

La información es el activo más valioso en el siglo XXI. Su posesión brinda enormes ventajas para situarse a la vanguardia del desarrollo. No obstante, a raíz de la generación de numerosos flujos de petabytes de datos por segundo en la actualidad, la gestión de la información ha pasado a ser muy compleja, pero esencial para todas las empresas. La prioridad ya no es acceder a suficiente información, sino utilizar la información adecuada de forma eficaz con objeto de ofrecer visibilidad, análisis y soluciones. En consecuencia, con objeto de mejorar sustancialmente la calidad del sector productivo mundial, es imprescindible adquirir información de forma rápida y adecuada, así como gestionarla, procesarla y visualizarla de forma eficiente y precisa.

El análisis basado en macrodatos surgió para transformar drásticamente el sector productivo mundial en materia de procesamiento de datos. Los macrodatos permiten analizar conjuntos de datos que son demasiado grandes o complejos para procesarse mediante aplicaciones informáticas de tratamiento de datos tradicionales, así como extraer información de forma sistemática de esos conjuntos de datos. Los datos con muchos campos son más útiles a efectos estadísticos, al tiempo que los datos de mayor nivel de complejidad pueden dar lugar a un mayor índice de detecciones erróneas⁶. Las tres características más destacadas de los macrodatos son su volumen, velocidad y variedad, también conocidas como 3V, por sus siglas en inglés.



Figura 14 – Tres propiedades principales de los macrodatos ("3V")

5) Ibid.

6) Breur, Tom (julio de 2016), Statistical Power Analysis and the contemporary "crisis" in social sciences, Journal of Marketing Analytics. Londres, Inglaterra: Palgrave Macmillan.

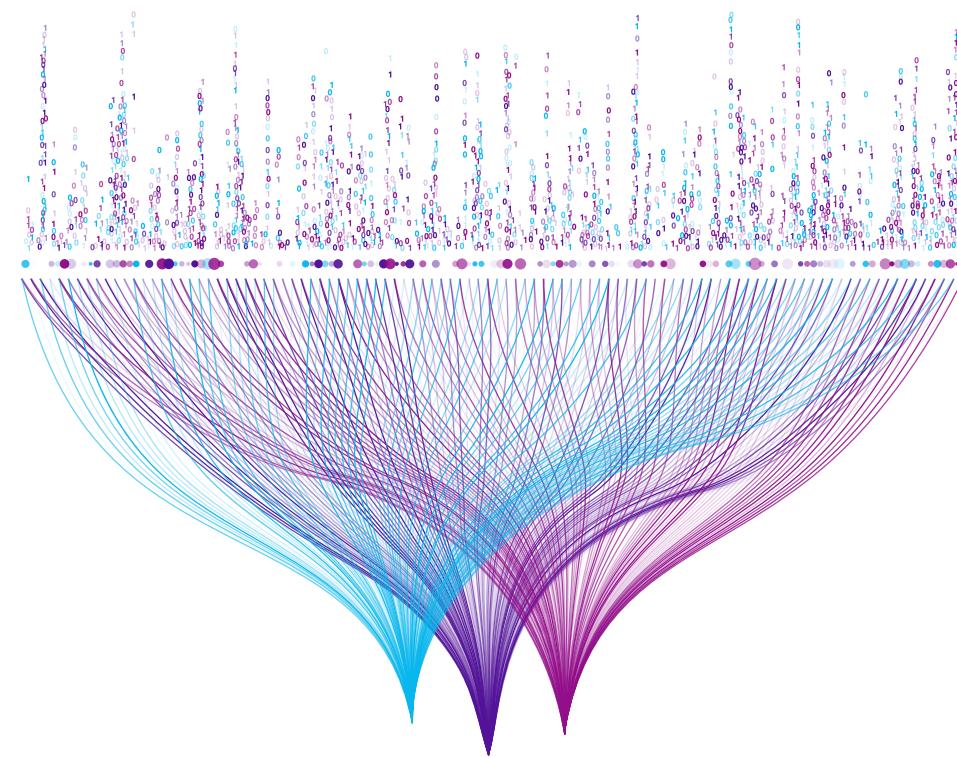


Figura 15 – Visualización analítica de macrodatos

El volumen de datos reviste importancia, al poder oscilar entre varios terabytes y cientos de petabytes en determinadas empresas. La velocidad de los datos es la rapidez con la que se reciben y (quizás) se procesan. Por lo general, los datos de gran velocidad se almacenan directamente en memoria, en lugar de grabarse en un disco. Determinados dispositivos inteligentes con acceso a Internet funcionan en tiempo real, o casi real, y requieren evaluación y procesamiento también en tiempo real. La variedad de datos se refiere a los numerosos tipos de datos disponibles.

Tradicionalmente, los tipos de datos estaban estructurados y se ajustaban perfectamente a bases de datos relacionales. A raíz del auge de los macrodatos, han surgido nuevos tipos de datos no estructurados, en particular archivos de texto, audio o vídeo, que requieren un preprocesamiento adicional antes de interpretar su significado e incorporar metadatos⁷. Las 3V relativas a los macrodatos obedecen perfectamente a las necesidades y expectativas de los procesos productivos mundiales actuales en materia de gestión de la información;

ello facilita el procesamiento en tiempo real y de forma eficaz de abundante información relativa a varios recursos, a fin de resolver problemas antaño irresolubles (o desconocidos) que merman la eficiencia en entornos productivos complejos, por ejemplo, cuellos de botella ocultos, dificultad operacional y esferas de excesiva variabilidad⁸. Por medio de un análisis exhaustivo y rápido basado en datos a lo largo de toda la cadena de suministro, es posible detectar hasta el menor residuo o cualquier funcionamiento mecánico deficiente, y ofrecer soluciones inteligentes al respecto. Por otro

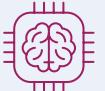
lado, las herramientas predictivas y los sistemas adaptativos cuyo funcionamiento es susceptible de mejorarse mediante análisis basados en macrodatos, permiten aumentar la eficiencia y funcionalidad de toda la cadena de suministro en lo que se refiere a una mayor flexibilidad y eficacia frente a las variaciones de mercado más frecuentes, así como satisfacer las necesidades cada vez más numerosas de los clientes, algo irrelevante en los sistemas productivos de antaño. Los análisis basados en macrodatos permiten aumentar sustancialmente la eficiencia de la producción ajustada, y en particular:



Recabar, clasificar y analizar grandes cantidades de datos para determinar las necesidades fundamentales de los clientes finales por un precio determinado, en un momento específico y para un producto o servicio concreto desde el punto de vista de los clientes, con objeto de facilitar la determinación de valor.



Identificar el flujo de valor y ofrecer acciones mensurables para validar etapas del proceso basadas en los análisis anteriormente mencionados a fin de evitar deficiencias innecesarias, sin perjuicio de los beneficios de los clientes.



Establecer un sistema inteligente basado en la demanda para suprimir obstáculos funcionales y fomentar una organización orientada al producto a través de sistemas de medición que se rijan por la duración de los ciclos y los aspectos de inventario, así como por el análisis de macrodatos, a fin de facilitar los flujos de información.



7) Oracle, What is big data?, <https://www.oracle.com/big-data/what-is-big-data/>

8) McKinsey and Company, When big data goes lean, 1 de febrero de 2014, <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/when-big-data-goes-lean>

Los macrodatos se aplican ampliamente en el sector productivo en actividades de gestión del suministro, diseño de productos adaptables, mantenimiento de maquinaria y la aseguramiento de la calidad. Por medio del análisis de datos en tiempo real, los macrodatos proporcionan información relativa a cada parte de la cadena de suministro a fin de ofrecer una visualización precisa y soluciones adaptables para abordar problemas específicos relativos a la gestión de suministros. Por otro lado, los análisis basados en datos brindan a las empresas una clara imagen de pautas de compra, comportamientos y preferencias de los clientes para mejorar las estrategias de diseño y los modelos de producción, con miras a predecir y satisfacer mejor las expectativas de los clientes.

4.3 PRODUCCIÓN ADITIVA: DESARROLLO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS PERSONALIZADOS

La prestación de servicios o productos personalizados a los clientes con objeto de satisfacer sus necesidades y expectativas cada vez más amplias sigue constituyendo un reto en el sector productivo actual. En el pasado, los productos y servicios personalizados sólo estaban al alcance de la nobleza y de las personas ricas, al tiempo que la mayoría de la población únicamente podía disponer de productos homogéneos sin propiedades personales. Sin embargo, a raíz del rápido ritmo de desarrollo económico, cada vez más clientes pueden poseer productos y servicios personalizados por un precio asequible, lo que se ha pasado a constituir el principal factor de competencia empresarial en la actualidad. En consecuencia, la prosperidad de las empresas depende plenamente de la capacidad de los fabricantes para ofrecer productos y servicios

personalizados por un precio razonable producidos en masa. Ello no era posible hasta la aparición de la producción aditiva (AM, por sus siglas en inglés, *Augmented Manufacturing*). La producción aditiva (AM), también conocida como impresión 3D, representa una metodología transformadora de la producción industrial que permite crear componentes y sistemas más ligeros y resistentes. La producción aditiva utiliza programas informáticos de diseño asistido por computador (CAD, por sus siglas en inglés, *Computer Assisted Design*) o escáneres de objetos en 3D para controlar soportes físicos y depositar material, capa sobre capa, con arreglo a formas geométricas precisas⁹. Las técnicas de producción aditiva se basan en su rapidez y flexibilidad para producir una cantidad pequeña o mediana de componentes de forma rentable.

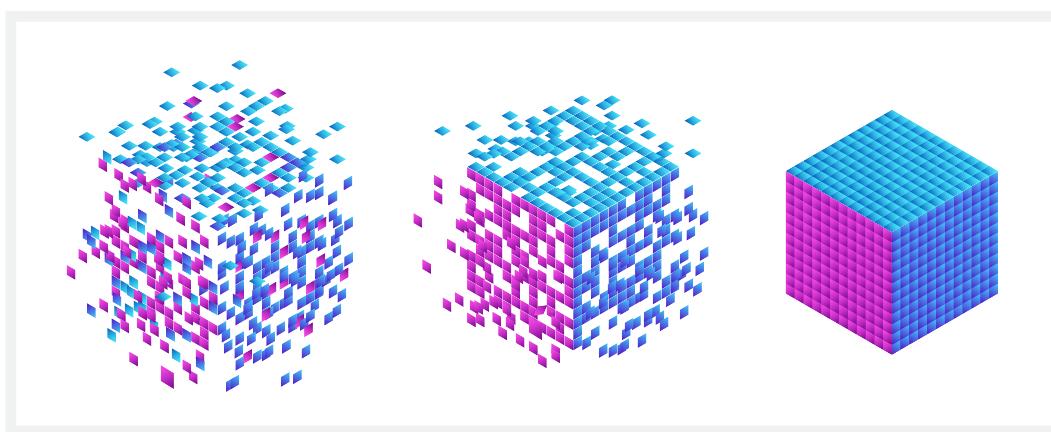


Figura 16 – La producción aditiva permite depositar material con arreglo a formas geométricas precisas

La producción aditiva ha propiciado el desarrollo de la versión más avanzada de la producción ajustada tradicional, a fin de satisfacer mejor las necesidades de los clientes y ofrecerles productos de diseño personalizado. Permite reducir sustancialmente los costos y aumentar considerablemente la eficiencia, ya que los productos se diseñan desde el principio para adaptarse mejor a las necesidades de los clientes, sin características redundantes. La producción aditiva brinda nuevas posibilidades en materia de personalización, puesto que no requiere costosos cambios de utillaje en función de especificaciones específicas¹¹. También contribuye a determinar o generar el valor de los productos personalizados teniendo en cuenta las necesidades y expectativas de los clientes y los métodos necesarios para satisfacerlas. Desde el punto de vista funcional, la producción aditiva permite proporcionar productos más adecuados y adaptados a las características, preferencias y necesidades de los clientes, con objeto de mejorar la experiencia de los usuarios a un ritmo más rápido. Desde el punto de vista estético, permite incorporar más características, en particular, colores, texturas, formas y logotipos, habida cuenta de las preferencias

de cada persona, a fin de impregnar un toque personal y específico en los productos. Desde el punto de vista técnico, la producción aditiva permite aumentar la seguridad de la cadena de suministro, pues facilita la rápida impresión de códigos únicos que contienen información de seguimiento exhaustiva para facilitar la detección del fraude de manera eficaz. Por otro lado, la gran cantidad de herramientas técnicas especializadas de la producción aditiva facilita la aplicación de los procedimientos de aumento de eficacia relativos a la producción ajustada. Ese principio de mejora constante que facilita la producción aditiva se apoya en gran medida en el desarrollo y la aplicación de conceptos destinados a la reducción de costes, el aumento de la eficiencia y la mejora de la funcionalidad.

Según McKinsey, varios estudios ponen de manifiesto que las ventas aumentan del 22 al 30 por ciento en los casos en los que se ofrecen productos personalizados, y los consumidores están dispuestos a pagar un precio casi un 20 por ciento más elevado por los mismos¹². La personalización que permite la producción aditiva puede aplicarse a muchos sectores. En el sector textil, se pueden comercializar zapatillas

9) 4 Big Data Use Cases in the Manufacturing Industry, 15 de septiembre de 2017, <https://imaginext.ingrammicro.com/data-center/4-big-data-use-cases-in-the-manufacturing-industry-1>

10) GE, What is additive manufacturing?, <https://www.ge.com/additive/additive-manufacturing>

11) Making product customization possible with additive manufacturing, <https://www.fastradius.com/resources/making-mass-customization-of-products-possible-with-additive-manufacturing/>

12) Ibid.

deportivas con la opción de elegir colores diferentes a juego con distintos elementos, y fabricar trajes y camisas a medida o sobre la base de modelos escaneados. En el sector alimentario, se puede producir yogur helado con opciones personalizadas en cuanto a complementos, y alimentos y vitaminas personalizados en función de las necesidades nutricionales.

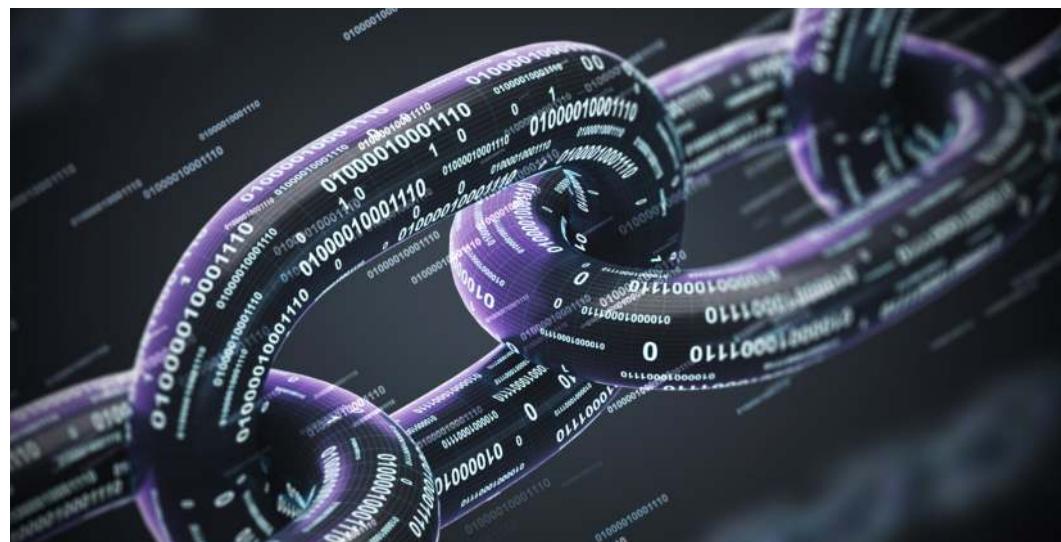
Con respecto al sector automovilístico, los vehículos pueden equiparse con funciones personalizadas en cuanto a colores, asientos, accesorios y elementos de carrocería¹³. La producción aditiva fomentará en el futuro una personalización generalizada al definir, crear y aplicar las funciones específicas que demanden los fabricantes y los consumidores.

4.4 BLOCKCHAIN: AUMENTO DE LA SEGURIDAD Y DE LA TRANSPARENCIA A LO LARGO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

La falta de transparencia constituye la principal dificultad en las cadenas de valor a los efectos de implantación de la producción ajustada. Los fabricantes se ven obligados a dedicar más tiempo y esfuerzos humanos para fomentar la transparencia y la seguridad en la cadena de suministro holística. Sin embargo, los beneficios aún no son lo suficientemente satisfactorios debido a la existencia de deficiencias y a la falta de fiabilidad que conlleva la intervención

humana. Hasta el advenimiento de las *blockchain*, o cadenas de bloques, el sector productivo había anhelado el desarrollo de una solución técnica eficaz y eficiente que permitiera afrontar radicalmente esos retos y arrojar luz al respecto.

Las cadenas de bloques constituyen un tipo específico de estructura de base de datos basada en la tecnología de libro mayor



13) McKinsey and Company, How technology can drive the next wave of mass customization?, https://www.mckinsey.com/~/media/mckinsey/dotcom/client_service/bto/pdf/mobt32_02-09_masscustom_r4.ashx

14) Researchgate, Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective, Schmidt and Wagner 2019, https://www.researchgate.net/publication/334433052_Blockchain_and_supply_chain_relations_A_transaction_cost_theory_perspective

distribuido (DLT)¹⁴. Se trata, en particular, de un libro mayor compartido inmodificable que facilita el proceso de registro de transacciones y seguimiento de activos en redes empresariales. Los activos pueden ser tangibles (una casa, un vehículo, dinero en efectivo o un terreno, por ejemplo) o intangibles (propiedad intelectual, patentes, derechos de autor o marcas, por ejemplo). Prácticamente cualquier cosa que posea valor puede ser supervisada y comercializada en una red de cadenas de

bloques, reduciendo los riesgos y los costes para todas las partes interesadas. Las cadenas de bloques son idóneas para suministrar esa información porque proporcionan información de forma inmediata, compartida e íntegramente transparente, almacenada en un libro mayor inmodificable al que sólo pueden acceder los miembros de la red que cuenten con el permiso necesario¹⁵. Ello es posible mediante las cuatro características clave de las cadenas de bloques enumeradas a continuación¹⁶:

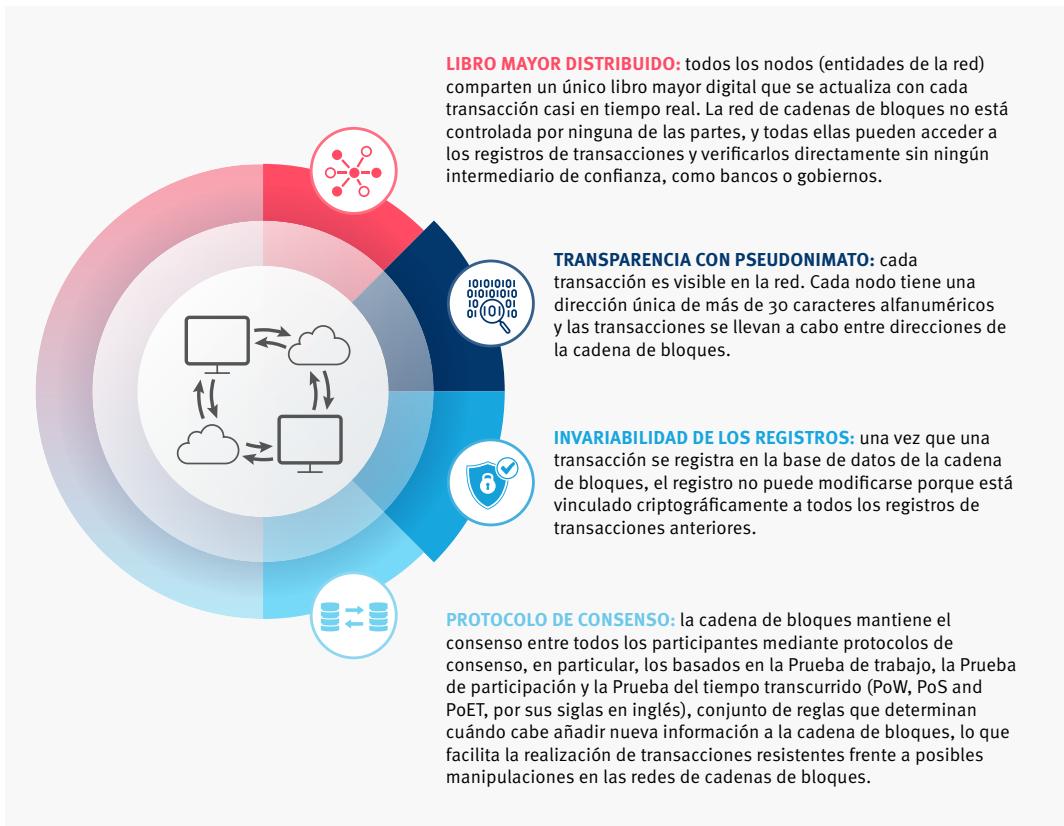


Figura 17 – Cuatro características clave de las cadenas de bloques

15) IBM, What is blockchain technology?, <https://www.ibm.com/topics/what-is-blockchain>

16) The Fintech Center, A Study on Value Creation through Blockchain-based Supply Chain Networks in Lean Production System, <https://fintech.morgan.edu/wp-content/uploads/A-Study-on-Value-Creation-through-Blockchain-based-Supply-Chain-Networks-in-Lean-Production-System.pdf>

Con respecto a la mejora de la fabricación ajustada, las cadenas de bloques contribuyen, en particular, a reducir la duración y el coste de la liquidación de cada transacción a través de un único libro mayor descentralizado, a disminuir los plazos de entrega y los retrasos por medio de transacciones entre pares y contratos inteligentes, y a reducir el coste de comportamientos oportunistas mediante registros transparentes y manifiestos. Por otro lado, en la actual coyuntura de crisis de la cadena de suministro mundial, provocada especialmente por la pandemia de COVID-19, cabe esperar que las redes de cadenas de bloques sirvan como plataforma de operaciones empresariales más eficientes para aplicar prácticas de gestión ajustada¹⁷. Las cadenas de bloques aportan transparencia, seguridad e inmediatez a toda la cadena de valor. En primer lugar, la cadena de suministro puede someterse a una estrecha supervisión en el plano tecnológico a fin de garantizar una plena transparencia. En segundo lugar, puede facilitarse la gestión de la identidad de los elementos de la cadena de suministro, con objeto de determinar el origen de materiales y detectar posibles falsificaciones. Por otro lado, la aplicación de la metodología de Tolerancia a defectos de calidad (QDT), que facilita la realización de varias inspecciones de determinados componentes para su ulterior

consolidación a un ritmo más rápido, permite un control de calidad eficaz y eficiente, a fin de agilizar de manera eficaz todo el proceso de control de calidad¹⁸. Por último, la uniformidad del protocolo de consenso de las cadenas de bloques y la fiabilidad asociada a datos seguros e inmodificables facilita el pleno cumplimiento de la normativa.

Las cadenas de bloques han tenido gran prevalencia desde el principio, como cabía esperar, debido a su importante contribución a los procesos productivos a escala mundial. El 84% de los ejecutivos de todos los sectores afirmaron que su empresa había utilizado las cadenas de bloques de algún modo, y el 15% señalaron que tenían proyectos en marcha¹⁹. Las cadenas de bloques brindan amplias ventajas al sector productivo, habida cuenta del aumento de la visibilidad en todas las esferas del proceso productivo, en particular en relación con los proveedores, el abastecimiento estratégico, las adquisiciones y la calidad de los productos de proveedores, y las operaciones en las plantas de producción, incluidas las actividades de supervisión y mantenimiento de maquinaria, y tienen la capacidad de lograr un modelo empresarial en el sector productivo completamente nuevo²⁰.

4.5 ROBÓTICA: FACILITACIÓN DE LA FABRICACIÓN AUTOMATIZADA Y COLABORATIVA

La falta de mano de obra calificada ha constituido siempre un problema constante en el sector productivo. Puesto que la población sigue envejeciendo y la mano de obra calificada sigue siendo insuficiente, el desfase entre dicha mano de obra calificada y la cantidad de la misma que realmente necesita el mercado

ha hecho que el desarrollo a escala mundial haya alcanzado un punto crítico. La pandemia de COVID-19 ha agravado la situación, habida cuenta de la cantidad de trabajadores que no pueden seguir desempeñando su función por motivos de enfermedad. El sueño de todo productor es contratar más "empleados-

máquina", inmunes a influencias externas como enfermedades, lesiones o accidentes, pero con la misma capacitación que los trabajadores humanos para realizar tareas. A tal efecto, la robótica puede resultar de gran utilidad.

La robótica conjuga elementos de la ciencia, la ingeniería y la tecnología a fin de producir máquinas, denominadas robots, que sustituyen (o copian) actividades humanas²¹. Los robots pueden utilizarse en muchas situaciones y con muchos fines, si bien en la actualidad muchos de ellos se emplean en entornos peligrosos (como inspección de materiales radiactivos

o detección y desactivación de explosivos), determinados procesos productivos o en lugares en los que los humanos no podrían sobrevivir (por ejemplo, en el espacio, debajo del agua, en lugares expuestos a altas temperaturas y en actividades de limpieza y contención de materiales peligrosos o radiactivos). Algunos robots necesitan la intervención del usuario para funcionar, al tiempo que otros funcionan de forma autónoma²². Ello no significa que los robots vayan a sustituir plenamente a la mano de obra humana, sino que prestarán asistencia a los operadores humanos y colaborarán con ellos.



17) Ibid.

18) Blockchain in manufacturing quality control: A computer simulation study, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7920390/>

19) PwC, PwC's Global Blockchain Survey 2018, <https://www.pwc.com/jg/en/publications/blockchain-is-here-next-move.html>

20) The role of blockchain in manufacturing, <https://manufacturingglobal.com/smart-manufacturing/role-blockchain-manufacturing>

21) Robotics, <https://builtin.com/robotics>.

22) Wikipedia, Robotics, <https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics>

tareas más relevantes y creativas, en lugar de a la realización de tareas mecánicas, lo que facilita la optimización de recursos mediante la reasignación de mano de obra. La producción ajustada se ha beneficiado de las ventajas que brindan las soluciones automatizadas integrales de la robótica, al reducir la incertidumbre, fomentar la versatilidad, aumentar la eficiencia y disminuir los residuos. Y lo que es más importante, la labor de los trabajadores humanos ya no se limita a la realización de tareas mecánicas, lo que proporciona tiempo a dichos trabajadores para aprender y acometer tareas más relevantes, y contribuye directamente a la mejora sustancial de productos, procesos y actividades culturales.



La automatización sigue constituyendo el elemento primordial de los futuros procesos productivos inteligentes, que dependen en gran medida de las tecnologías robóticas. Éstas propician transformaciones innovadoras y dan lugar a nuevos métodos de producción. Varias soluciones robóticas se encuentran a la vanguardia de la Industria 4.0, entre ellas la robótica móvil para aplicaciones logísticas, que permite llevar a cabo tareas de transporte y empaquetado de materiales y, a su vez, liberar a los operarios de la realización de tareas

repetitivas y tediosas susceptibles de disminuir la eficiencia y eficacia, y los manipuladores móviles, solución automatizada muy eficaz en las fábricas inteligentes al permitir a los fabricantes, en particular, ahorrar tiempo y aumentar la eficiencia de procesos específicos²³. Los robots colaborativos colaboran estrechamente con los humanos en actividades de recogida, embalaje y uso de palés, soldadura, ensamblaje de artículos, manipulación de materiales e inspección de la calidad de los productos²⁴ para mejorar la fabricación a escala mundial.

4.6 INTELIGENCIA ARTIFICIAL: AUMENTO DE LA AUTONOMÍA DE LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN INTELIGENTE MEDIANTE SOLUCIONES DE MENTE HUMANA

Si bien conviene que la robótica evite a los humanos la realización de tareas tediosas y repetitivas, ¿no es aún más conveniente que las máquinas piensen como los humanos y desarrollen sus propias soluciones, susceptibles de lograr mejores resultados? Los fabricantes se plantearon esa pregunta hace años y el desarrollo de la inteligencia artificial (IA) les ofreció una respuesta de forma rotunda y favorable.

La IA, término acuñado en 1955 por John McCarthy, profesor emérito de Stanford, se refiere al "proceso científico y de ingeniería de desarrollo de máquinas inteligentes"²⁵. Comprende la simulación de la inteligencia humana en máquinas programadas para pensar

como los humanos e imitar sus acciones²⁶. La IA posee las siguientes características principales: razonamiento y capacidad para la resolución de problemas, autoaprendizaje, reconocimiento facial, procesamiento del lenguaje natural, representación del conocimiento y percepción.

Se prevé que las máquinas asuman mayor responsabilidad respecto de la producción ajustada en el marco de la Industria 4.0. El auge de la IA ha dotado a las máquinas de mayor capacidad para desempeñar esa importante función. Las características de la IA, en particular las enumeradas a continuación, ponen de manifiesto información adicional sobre la manera de promover la producción ajustada:

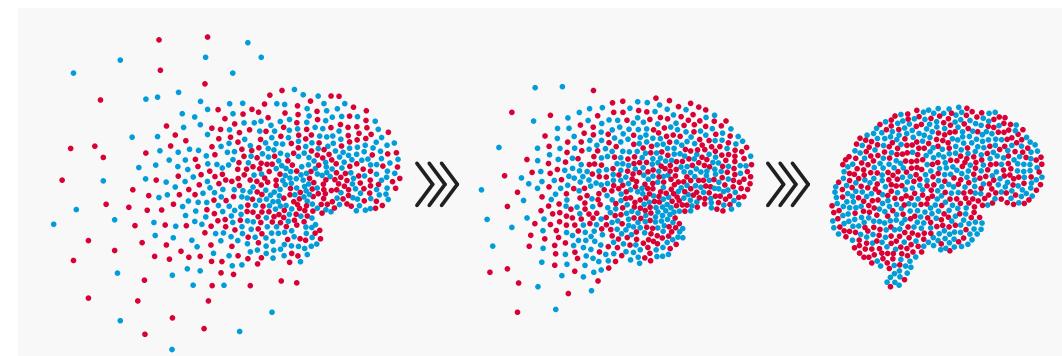


Figura 18 – Principales características de la inteligencia artificial

Aprendizaje automático (ML):
Uso de las matemáticas y la estadística para adquirir conocimientos mediante datos, y mejorarllos sobre la base de la experiencia.

Procesamiento de lenguaje natural (NLP):

Aprendizaje profundo:

Utilización de redes neuronales artificiales para resolver retos complejos²⁷.

23) Smart factories: how robots are leading industry changes, <https://robotnik.eu/smart-factories-robots/>

24) Forbes, "5 Applications Of Collaborative Robots In Manufacturing", <https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/08/09/5-applications-of-collaborative-robots-in-manufacturing/?sh=437613086507>

25) Artificial Intelligence Definitions, Stanford University Human-Centered Artificial Intelligence, <https://hai.stanford.edu/sites/default/files/2020-09/AI-Definitions-HAI.pdf>

26) Golden Gate University, What Is Artificial Intelligence (A.I.)?, <https://ggu.libguides.com/AI>

27) The AI Approach to Lean Manufacturing, <https://www.mastercontrol.com/gxp-lifeline/the-ai-approach-to-lean-manufacturing/>

Cabe destacar la importancia que reviste el aprendizaje automático, una de las características de la IA que más contribuye al desarrollo de la producción inteligente, en particular mediante:



Actividades de suministro virtual y el desarrollo de una estructura de cadena de suministro colaborativa que fomente los procesos de licitación virtual por vía electrónica con grupos de proveedores estratégicos preferentes.



La facilitación del establecimiento de modelos de previsión de demanda por medio del análisis direccional predictivo de tendencias comerciales a fin de identificar la tecnología productiva necesaria para el diseño de productos actual o futuro, a tenor de la previsión de las necesidades de los clientes.



La planificación de las actividades de producción en el plano digital sobre la base de una visión operacional transparente, en los casos en los que se precise o deseé un nivel mínimo de participación humana en tareas breves y repetitivas mediante la aplicación de flujos de producción ajustada y la realización de actividades de previsión de demanda y tareas de automatización optimizada, así como de integración robótica en función de las necesidades operacionales.



La mejora de las funciones analíticas de forma ininterrumpida para predecir y anticipar las condiciones de tendencias comerciales, el establecimiento de modelos y simulaciones sobre las necesidades identificadas con el fin de disponer de la capacidad interna y de producción necesaria en plantas de producción digital existentes o en el marco de cadenas de suministro ampliadas (con arreglo a compromisos con terceros) a fin de satisfacer las necesidades comerciales pertinentes en caso de que esa necesidad se satisfaga según el modelado predictivo aplicado²⁸.

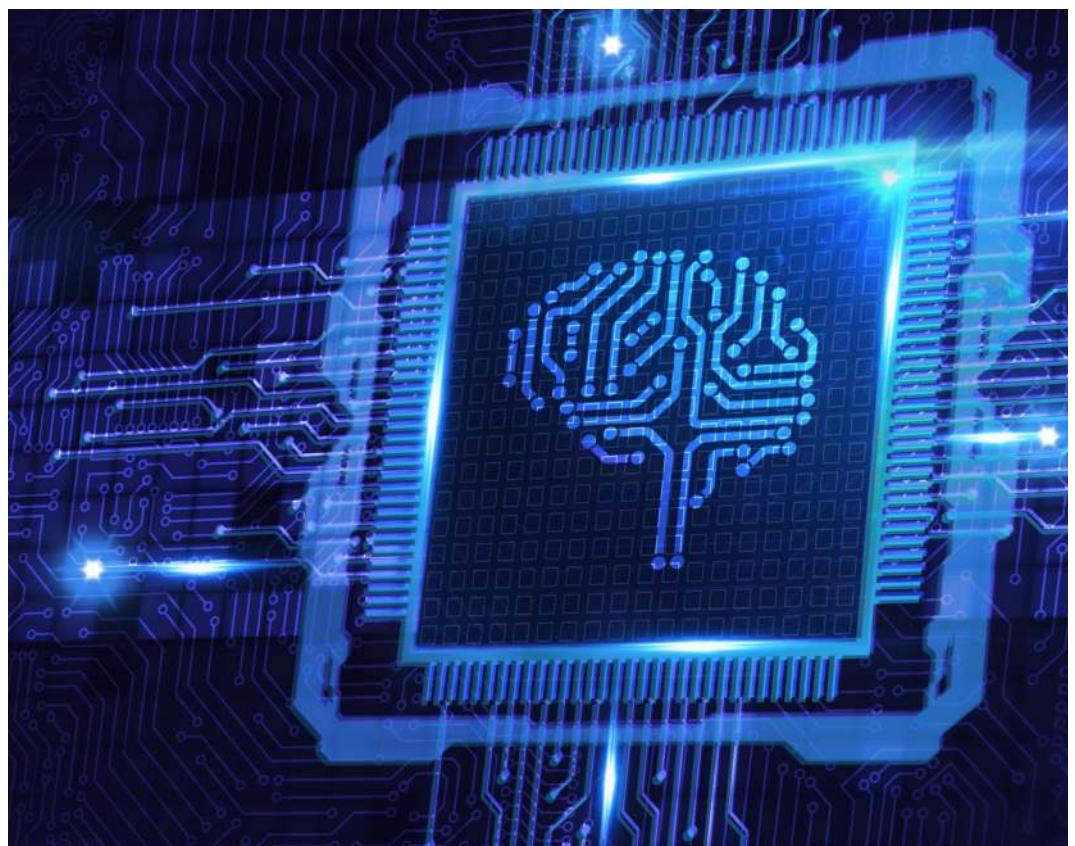


28) Lean Enterprise Institute, Lean Management Meets Artificial intelligence, Machine Learning, the Internet of All Things, <https://www.lean.org/the-lean-post/articles/lean-management-meets-artificial-intelligence-machine-learning-the-internet-of-all-things/>

La capacidad que posee el aprendizaje automático de proporcionar conocimientos inteligentes y predictivos a los usuarios permite a los ingenieros de procesos y de calidad disponer de más tiempo para centrar su labor en la resolución de problemas, en lugar de en su identificación²⁹.

El 92% de los altos ejecutivos del sector productivo consideran que las tecnologías digitales de “producción inteligente”, en particular la IA, les permiten aumentar su nivel de productividad y capacitar a su personal para

trabajar de forma más inteligente, según se desprende de los resultados del Informe Anual de Producción de 2018³⁰. Una de las mayores ventajas que brinda la inteligencia artificial con respecto a las operaciones productivas a todas las escalas es facilitar los procesos fundamentales relativos a la producción ajustada de observación, extracción de conclusiones, toma de decisiones y realización de acciones durante toda la fase operacional, sin intervención alguna, lo que se ajusta perfectamente al concepto de mejora continua de la producción ajustada.



29) LEAN AI Y MANUFACTURING, <https://www.machinemetrics.com/blog/lean-ai-and-manufacturing>

30) FOUR PRINCIPLES, LEAN AI: ‘MARRYING’ ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND LEAN MANAGEMENT IN MANUFACTURING, <https://fourprinciples.com/expert-opinion/lean-ai-marrying-artificial-intelligence-and-lean-management-in-manufacturing/ingrammicro.com/data-center/4-big-data-use-cases-in-the-manufacturing-industry-1>



Enfoques de implantación

A raíz de la presión competitiva en el sector industrial moderno, y con objeto de aumentar la eficiencia y eficacia del mismo, la ONUDI ha puesto en marcha un enfoque innovador que ha demostrado su éxito en la India, la Federación de Rusia, Serbia y Sudáfrica. En colaboración con varios asociados, la ONUDI ha desarrollado diversas herramientas prácticas para ayudar a las empresas a ser más competitivas en las cadenas de valor mundiales y mejorar su rendimiento en términos de calidad-coste-entrega (C-C-E). El programa cuenta con tres herramientas fundamentales, a saber, el Enfoque de clase magistral (MCA), el Diagnóstico en profundidad (IDD) y Kaizen Digital.

5.1 ENFOQUE DE CLASE MAGISTRAL

El Enfoque de clase magistral (MCA, por sus siglas en inglés, *Master Class Approach*) se basa en un conjunto de herramientas de producción ajustada (véase la Sección 3) con el fin de efectuar cambios rápidos en tareas breves y específicas de un proceso. Se hace hincapié en la subsanación de deficiencias y la mejora de la calidad. Las clases magistrales pueden utilizarse estratégicamente en el marco de un plan de implantación integral. Sin embargo, se suelen aplicar de forma táctica para resolver aspectos problemáticos.

Aunque con arreglo al enfoque MCA se sigue utilizando personal de primera línea para participar en actividades de mejora, dicho enfoque tiende a centrarse más en los resultados a corto plazo que en los aspectos de desarrollo

a largo plazo. Por lo tanto, la ONUDI aplica el enfoque MCA para reflejar cambios y mejoras de rápida implantación. Los responsables de las líneas de producción consideran que dicho enfoque es favorable, pues permite beneficiarse antes de los esfuerzos desplegados, ofrece mayor visibilidad y es más compatible con los modelos de control de gestión existentes que la adopción integral. Por otro lado, los operarios de la planta de producción se identifican con un proceso de mejora que refleja rápidamente los resultados de su participación. El enfoque MCA permite lograr mejoras productivas concretas sin realizar grandes inversiones, así como formar al personal mediante una metodología didáctica basada en la práctica.

Las características principales del enfoque MCA son los siguientes:

- REALIZACIÓN DE TRANSFORMACIONES DE BASE
- ESTABLECIMIENTO DE UN ESTADO FUTURO POR ETAPAS
- PARTICIPACIÓN DE EQUIPOS OPERACIONALES
- INTRODUCCIÓN DE CAMBIOS CON APOYO DE EQUIPOS OPERACIONALES
- PROMOCIÓN DE UNA MEJORA SOSTENIBLE DEL RENDIMIENTO
- FOMENTO DE UNA METODOLOGÍA DIDÁCTICA BASADA EN LA PRÁCTICA.

Figura 19 - Características principales del enfoque MCA

El enfoque MCA es una herramienta de demostración que permite a las empresas familiarizarse con la metodología de producción ajustada a nivel de base y evaluar la eficacia de las mejoras introducidas. Constituye una actividad de mejora rápida que hace hincapié en el trabajo en equipo y la innovación para fomentar la responsabilidad de los empleados y aumentar la productividad, tanto en los procesos tradicionales de producción por lotes como en los de flujo celular justo a tiempo. La mejor manera de llevar a cabo dichos procesos es mediante un equipo multidisciplinar de seis a diez personas, incluidos proveedores, clientes y al menos una persona que no desempeñe ninguna tarea operacional, con objeto de fomentar propuestas "originales". Ello conlleva eximir a los participantes de cualquier otra responsabilidad durante el ejercicio.

Cabe destacar asimismo las siguientes actividades:

- Registro del estado en curso del proceso;
- Evaluación del proceso en curso para identificar problemas;
- Desarrollo de un flujo de trabajo futuro;
- Implantación de un nuevo flujo de procesos;
- Reevaluación del nuevo flujo;
- Examen de los resultados.

El enfoque MCA es más indicado para centros de producción de pequeño tamaño (hasta diez máquinas y 20 personas). A continuación se describen, etapa por etapa, todas las actividades de dicho enfoque.

ETAPA 1: Diagnóstico preliminar

- 1.1 Establecer un grupo de trabajo con la participación de altos directivos y responsables de la línea de producción. El grupo deberá estar formado por el director del grupo de trabajo y un equipo de cinco a siete empleados de la línea de producción, capacitados y autorizados para tomar decisiones orgánicas y de gestión.
- 1.2 Organizar una reunión inicial para familiarizar a los participantes con el formato de las clases magistrales.
- 1.3 Seleccionar la zona piloto en la que se llevará a cabo el enfoque MCA, con una indicación clara de los problemas existentes y los parámetros de evaluación que los participantes deseen mejorar. Las peticiones de mejora más comunes son las siguientes:
 - Aumento de la productividad de la mano de obra, tanto en términos de reducción de la duración de una determinada actividad como de aumento del número de productos fabricados
 - Reducción del tiempo de intercambio de equipos
 - Reducción del tiempo de inactividad y fomento de la utilización de equipos
 - Optimización del espacio de producción
 - Reducción del consumo de electricidad
 - Reducción del número de productos defectuosos
 - Aumento de la transparencia en la gestión de los procesos, etc.
- 1.4 Solicitar la siguiente información relativa a la zona área piloto:
 - La principal línea de productos del sitio (el producto o grupo de productos más habitual o alentador)
 - Producción prevista o real por centro (desglosada por meses para el año en curso)
 - Disposición del emplazamiento, con indicación de los principales componentes de los equipos
 - Matriz de calificaciones del personal en el sitio
 - Número de personal en el sitio (real y previsto) para el año en curso
 - Tiempo real del personal en el sitio para el año en curso (tarjeta informativa que indique la cantidad de tiempo de actividad adicional o el tiempo de inactividad)
 - Producción en el sitio para el año en curso (con indicación del período, de ser necesario)
 - Capacidad del sitio (estimada o real)
 - Sistema de remuneración de los trabajadores en cada zona (lista de liquidación)
 - Información sobre la calidad de los productos fabricados en el emplazamiento (datos estadísticos)
 - Número de alteraciones o correcciones por mes (datos estadísticos) para el año en curso
 - Establecimiento de tiempos normalizados para las operaciones de producción en el emplazamiento
 - Número de productos inacabados en el sitio
 - Precio y coste (estructura en términos porcentuales) de los productos (cálculo)
 - Descripción de los principales problemas y propuestas de mejora en las zonas del emplazamiento (del director o jefe del emplazamiento, jefe de taller, tecnólogo, controlador o trabajadores).
- 1.5 Determinar las fechas de las intervenciones MCA.

ETAPA 2: Diagnóstico

El principal objetivo de la fase de diagnóstico es recabar todos los datos sobre el estado de la zona piloto seleccionada y determinar el potencial de mejora. A tal efecto, se representa gráficamente el estado del proceso de producción y se determinan los indicadores cuantitativos CPC (calidad, productividad, costes). La principal herramienta para realizar dicha representación es la programación de las actividades de los empleados y el desplazamiento de los productos. Una vez representado el estado actual del proceso, se determina el potencial de mejora y las herramientas necesarias para la producción ajustada. En la misma etapa, se puede representar el estado futuro del proceso. En la última etapa del diagnóstico se realiza una segunda reunión con la dirección, cuyo objetivo es debatir el potencial de mejora, los posibles cambios en la zona seleccionada y la coordinación preliminar de los métodos de optimización de los procesos.

ETAPA 3: Jornada de la verificación

El principal objetivo de esta etapa es garantizar la preparación de la organización para la realización de clases magistrales. Conviene asegurarse de que el grupo de trabajo esté preparado para trabajar y confirmar la intención de la dirección de aplicar los cambios previstos. En esta misma fase se elaboran, acuerdan y aprueban el programa y las condiciones de dichas clases.

ETAPA 4: Clase magistral**4.1 ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL**

Durante el primer día de clase magistral, el grupo de trabajo desarrolla la fase de diagnóstico mediante las siguientes herramientas:

- Cronometraje (medición de la duración) de todos los procesos en el sitio
- Elaboración de diagramas de carga y Spaghetti (véase la Figura 20), que permiten representar de forma clara y objetiva el estado actual del proceso
- Identificación de todas las irregularidades y sobrecargas desglosando las acciones realizadas en "trabajo útil", "trabajo sin valor" y "pérdidas"
- Análisis de ocho pérdidas
- Realización de análisis según los principios 5S
- Armonización del proceso para introducir el flujo de una sola pieza.

Todo ello hace posible que el grupo de trabajo pueda mostrar el estado actual del proceso, y explicar detalladamente las técnicas, los enfoques y los resultados pertinentes, así como acordar la elección de las herramientas de producción ajustada que se utilizarán para realizar mejoras. Ello vendrá acompañado de una explicación teórica y de los métodos de producción ajustada.

4.2 CREACIÓN DE UN PROTOTIPO DEL ESTADO FUTURO

El objetivo es crear un futuro estado deseado del emplazamiento piloto, ignorando el estado actual, sobre la base de las pérdidas y los problemas del mismo. En este proceso conviene tener en cuenta la opinión de las personas (trabajadores) directamente implicadas en la producción, ya que su aceptación y apoyo son cruciales para lograr un resultado eficaz de la iniciativa.

El estado futuro del emplazamiento se presenta mediante diagramas (mapas o diagramas de procesos, etc.), y se fija un nuevo objetivo (relativo a los objetivos fijados para alcanzar los indicadores fundamentales de rendimiento). Además, el grupo de trabajo identifica los factores que dificultan la creación de dicho estado futuro. Se elabora una lista de actividades que hay que llevar a cabo para transformar rápidamente el sitio en un estado futuro. En el proceso de formulación de las actividades destinadas a transformar el sitio piloto, el grupo de trabajo puede contar con otros especialistas cuya colaboración sea necesaria para resolver determinadas tareas (eventos) de forma inmediata.

Conviene realizar un informe preliminar y coordinar las actividades desarrolladas con la dirección de la empresa; sólo entonces se debe pasar a la fase de ejecución. El informe será gestionado por el director del grupo de trabajo. Sólo debe considerarse que el trabajo en esta etapa habrá concluido tras la aplicación de los cambios de diseño.

4.3 INICIO DEL PROCESO DE UNA MANERA NUEVA, BASADA EN LA DEPURACIÓN

La siguiente etapa consiste en poner en marcha el nuevo proceso en la zona piloto, de acuerdo con el plan aprobado. Un grupo de trabajo realiza un experimento sobre el trabajo o la organización del proceso de producción en la zona piloto, analizando y comparando el esquema teórico con el funcionamiento en la práctica. Dicho grupo de trabajo determina la mejor forma de trabajar y la plasma en las normas, registra los problemas que surjan y comienza a resolverlos. Tras depurar todos los procesos, el grupo de trabajo registra el rendimiento logrado. Los problemas que no se pueden resolver se registran y se ponen en marcha planes para subsanarlos en el futuro.

4.4 NORMALIZACIÓN. APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS 5S, TRABAJO NORMALIZADO Y GESTIÓN VISUAL

En esta fase se documenta el nuevo proceso para elaborar una nueva norma. Se forma a los operarios en los nuevos principios de organización del trabajo y se comprueba el tiempo Takt con respecto al objetivo fijado. El grupo de trabajo colabora en el desarrollo de las normas 5S (cuyas herramientas se describen en la sección 3). Se lleva a cabo la visualización de todos los procesos del emplazamiento y se realiza un control visual de los procesos en el sitio piloto.

4.5 CÁLCULO DE INDICADORES Y PRESENTACIÓN FINAL

La etapa final de la clase magistral conlleva la determinación de la incidencia económica esperada de la aplicación de las mejoras (eliminando "cuellos de botella" y las pérdidas identificadas). Esa labor la realizan conjuntamente el grupo de trabajo y uno o varios especialistas del departamento económico de la empresa. El resultado de dicha labor es un documento en el que se calcula la repercusión económica esperada de las mejoras aplicadas en el sitio piloto (con respecto a los indicadores de rendimiento previamente registrados). El documento lo firman el director de la empresa que ha proporcionado el especialista del servicio económico y el director del grupo de trabajo.

Para que las mejoras aplicadas sean sostenibles, el experto, junto con el grupo de trabajo, elabora un plan de estabilización. Tras recibir los datos sobre los resultados obtenidos, se realiza una presentación final a la dirección de la empresa.

En ella se refleja el trabajo realizado durante el evento (la información se incluye en carteles o estands, los empleados reflexionan diariamente sobre dicha información y se comparan los rendimientos del estado actual y del estado futuro con respecto al nuevo proceso), incluida la variación de los indicadores fundamentales de rendimiento del emplazamiento (seguridad, calidad, productividad, costes y desarrollo del personal). La presentación corre a cargo del director del grupo de trabajo y de todos los participantes en la clase magistral.

En la página siguiente se muestra un ejemplo de planificación relativa a la etapa 4.

Lunes			
Recogida de datos sobre el estado actual	1 h	11:00 - 12:00	
Almuerzo	1 h	12:00 - 13:00	
Representación del estado actual	2 h	13:00 - 15:00	
Ánalisis de la representación del estado actual	1,5 h	15:00 - 16:30	
Obtención de información y resumen del día	10 m		
Martes			
Obtención de información y programa del día	15 m	8:00 - 8:15	
Representación del estado futuro	~ 2 h	8:15 - 10:00	
Representación de la carga de trabajo	1 h	10:00 - 11:00	
Visualización del plan de mejoras	1 h	11:00 - 12:00	
Almuerzo	1 h	12:00 - 13:00	
Elaboración de una nueva disposición del emplazamiento	1 h	13:00 - 14:00	
Preparación del inicio del proceso "de una manera nueva"	2,5 h	14:00 - 16:30	
Resumen de la jornada	10 m		
Miércoles			
Obtención de información y programa del día	15 m	8:00 - 8:15	
Inicio del proceso "de una manera nueva"	~ 4 h	8:15 - 12:00	
Depuración de los problemas identificados en el nuevo proceso			
Almuerzo	1 h	12:00 - 13:00	
Elaboración de un stand de gestión de la producción	1 h	13:00 - 14:00	
Aplicación de las 3 primeras "S" de la metodología 5S en el emplazamiento	1 h	14:00 - 15:00	
Realización de un nuevo trabajo normalizado	1 h	15:00 - 16:30	
Resumen de la jornada	10 m		
Jueves			
Obtención de información y programa del día	15 m	8:00 - 8:15	
Depuración de los problemas identificados en el nuevo proceso	~4h	8:15 - 12:00	
Formación del personal del emplazamiento			
Almuerzo	1 h	12:00 - 13:00	
Determinación de las mejoras de los IFR	1 h	13:00 - 14:00	
Evaluación de la incidencia económica	1 h	14:00 - 15:00	
Preparación de la presentación final	1 h	15:00 - 16:30	
Resumen de la jornada	10 m		
Viernes			
Obtención de información y programa del día	15 m	8:00 - 8:15	
Preparación de la presentación final	~ 2 h	8:15 - 10:00	
Preparación de un plan de estabilización	1 h	10:00 - 11:00	
Presentación final	1 h	11:00 - 12:00	

ETAPA 5: Estabilización

La estabilización constituye la etapa final, en la que los miembros del grupo de trabajo comprueban que se han aplicado todos los elementos del plan de estabilización y que las mejoras son sostenibles.

VENTAJAS DEL MCA:

- Puede centrarse en objetivos tangibles
- Brinda beneficios inmediatos
- Mayor compatibilidad con el estilo de gestión
- Enfoque intensivo que propicia cambios
- Baja inversión en cuanto a tiempo y costes
- Repercusión inmediata en la calidad del servicio

DEFICIENCIAS DEL MCA:

- No abarca todo el personal
- Participación parcial
- Falta de visibilidad global
- Posible falta de sostenibilidad
- No incluye todas las posibilidades de mejora
- Sólo abarca proyectos breves y sencillos
- Puede no ayudar a integrar una cultura de mejora continua

5.2 DIAGNÓSTICO EN PROFUNDIDAD

El Diagnóstico en profundidad (IDD, por sus siglas en inglés, *In-Depth Diagnostics*) es una metodología de análisis exhaustivo de los procesos de producción y de desarrollo de una hoja de ruta para introducir mejoras sobre la base de objetivos preestablecidos. El IDD se efectúa normalmente en una planta de producción específica o en el marco de un ciclo de producción integral para un producto concreto en varios sitios de producción situados en centros de producción diferentes.

El IDD comprende un análisis pormenorizado del sistema de producción mediante la aplicación de los enfoques y las herramientas de la metodología de la ONUDI, así como la identificación de los sitios con mayor capacidad para introducir mejoras, con el fin de alcanzar los objetivos previstos. Los indicadores más comunes al respecto son la eficiencia económica, el aumento del rendimiento, la ampliación del ciclo de producción y el ahorro de recursos, así como la mayor disponibilidad de personal y de zonas

de producción. Antes de comenzar el trabajo, el cliente define los indicadores necesarios para el diagnóstico y el desarrollo de la citada hoja de ruta.

El IDD se efectúa bajo la hipótesis de que la empresa ya ha realizado un ciclo de MCA, tras haber creado un grupo de trabajo. Si no se ha realizado ninguna actividad MCA, el director del grupo de trabajo y sus especialistas deberán recibir una formación integral al respecto.

Los objetivos clave del IDD son los siguientes:

- Análisis del modelo de organización existente en la zona piloto;
- Identificación de cuellos de botella y de posibles pérdidas que afecten directamente a la eficacia del trabajo.
- Elaboración de orientaciones conceptuales para suprimir dichos cuellos de botella y pérdidas.

ETAPA 1: Preparación

- 1.1 La alta dirección debe decidir las prioridades y los objetivos estratégicos teniendo en cuenta el tipo de producción, el volumen de pedidos y la cantidad de demanda, ya que esos indicadores están muy relacionados con la implantación de la producción ajustada.
- 1.2 Sobre la base de la política de la empresa, el compromiso de la dirección y el plan futuro, el IDD puede iniciarse formando un grupo de trabajo sobre producción ajustada. Dicho grupo de trabajo debe recibir formación especializada en materia de métodos, conceptos y hojas de ruta sobre implantación de la producción ajustada, y en su caso, otras formaciones teóricas y técnicas conexas. El grupo de trabajo suele estar formado por expertos y personal directivo de varios departamentos, y su principal objetivo es gestionar el personal y los recursos necesarios para integrar la producción ajustada en el proceso de producción.
- 1.3 Selección e inspección de la zona piloto, incluida la obtención de la siguiente información:
 - La principal línea de productos del sitio (el producto o grupo de productos más habitual o alentador)
 - Producción prevista o real por centro (desglosada por meses para el año en curso)
 - Disposición del emplazamiento, con indicación de los principales componentes de los equipos
 - Matriz de calificaciones del personal en el sitio
 - Número de personal en el sitio (real y previsto) para el año en curso
 - Tiempo real del personal en el sitio para el año en curso (tarjeta informativa que indique la cantidad de tiempo de actividad adicional o el tiempo de inactividad)
 - Producción en el sitio para el año en curso (con indicación del período, de ser necesario)
 - Capacidad del sitio (estimada o real)
 - Sistema de remuneración de los trabajadores en cada zona (lista de liquidación)
 - Información sobre la calidad de los productos fabricados en el sitio (datos estadísticos)
 - Número de alteraciones o correcciones por mes (datos estadísticos) para el año en curso
 - Establecimiento de tiempos normalizados para las operaciones de producción en el emplazamiento
 - Número de productos inacabados en el emplazamiento
 - Precio y coste (estructura en términos porcentuales) de los productos (cálculo)
 - Descripción de los principales problemas y propuestas de mejora en las zonas del emplazamiento (del director o jefe del emplazamiento, jefe de taller, tecnólogo, controlador o trabajadores).

ETAPA 2: Análisis

La siguiente etapa consiste en esbozar el estado de los procesos existentes y sus interrelaciones. A tal efecto, se visualizan los procesos de producción y se identifican sus flujos de valor mediante métodos de análisis de dicho flujo y técnicas de control visual y análisis temporal. Se registran todos los indicadores clave de la zona piloto seleccionada. Ello permite identificar cuellos de botella y posibles pérdidas en el proceso de producción que afecten directamente a la eficiencia del trabajo.

Toda la información recopilada se unifica en un único documento y se coloca en una pared para mostrar el proceso analizado. A continuación, se evalúan los beneficios económicos del estado futuro (una vez suprimidos los cuellos de botella y los problemas provocados por las pérdidas). El resultado de este trabajo es un documento, firmado por el director de la empresa, en el que se analizan los beneficios económicos previstos con respecto a la situación analizada previamente.

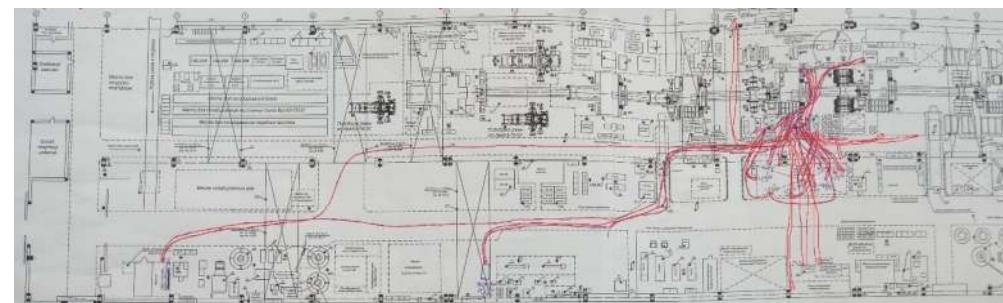


Figura 20 - Ilustración: Diagrama de tipo espagueti

ETAPA 3: Preparación de la hoja de ruta para la integración de la producción ajustada

3.1 SELECCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE PRODUCCIÓN AJUSTADA ADECUADAS

La selección y aplicación de nuevas herramientas y técnicas de producción ajustada constituyen la siguiente fase del proyecto. La minimización de deficiencias es el objetivo principal de esta fase. Se han formulado varias estrategias de producción ajustada para reducir las actividades que no añaden valor y fomentar los sistemas de producción ajustada. Sin embargo, conviene que la selección de dichas estrategias no incurra en otras actividades que no añaden valor en otras partes del proceso de producción. En consecuencia, hay que seleccionar las estrategias de producción ajustada adecuadas para subsanar deficiencias o mejorar los parámetros de rendimiento del proceso de producción. Además, es preferible seleccionar las estrategias que tengan el mayor impacto global en las deficiencias identificadas o en los parámetros de rendimiento, en función de la prioridad de la empresa. La selección y aplicación de esas herramientas depende en gran medida del volumen de productos y de la capacidad de inversión de la empresa.

3.2 FORMULACIÓN DE LA HOJA DE RUTA DE PRODUCCIÓN AJUSTADA, INCLUIDO SU PLAN DE IMPLANTACIÓN

La hoja de ruta es un documento a largo o medio plazo en el que se describen las etapas de implantación de la cultura de producción ajustada en la organización, las orientaciones estratégicas y la visión, las principales tareas y responsabilidades y los plazos previstos. La aplicación del IDD conlleva la posterior utilización de la hoja de ruta para la introducción de las herramientas de producción ajustada en la zona piloto.

VENTAJAS DEL IDD

- Transformación cultural integral
- Gran potencial de mejora
- Sostenibilidad de los cambios introducidos
- Transformación total del sistema
- Capacidad para vincular los cambios introducidos con la estrategia

DEFICIENCIAS DEL IDD

- Dificultades de implantación
- Plazos más largos para los proyectos
- Consecución de los principales resultados a un ritmo más lento
- Mayor capacidad de resistencia
- Menor compatibilidad con los estilos de gestión existentes
- Posibilidad de perder de vista la dirección general del proceso

5.3 KAIZEN DIGITAL

El método Kaizen Digital puede considerarse la primera etapa de la transición a la Industria 4.0. Dicho método se basa en las técnicas habituales de producción ajustada y en nuevas tecnologías y soluciones digitales. Con objeto de mostrar los beneficios de la Industria 4.0, la ONUDI propone intervenciones de mejora continuada de índole práctica en la planta de producción. Esa combinación de métodos habituales ensayados de producción ajustada con tecnologías de

la Industria 4.0 brinda ventajas añadidas al proceso de producción, sin necesidad de efectuar inversiones sustanciales.

Responsables de la cadena de suministro de todos los sectores reconocen que la Industria 4.0 ofrece numerosos beneficios que repercuten en los resultados de las empresas. En el sector de la automoción brinda ventajas específicas, como se indica en el Cuadro 4.

El concepto de Industria 4.0 se refiere a la relación existente entre digitalización y transformación digital, incluida su repercusión en la mejora de la productividad. La Industria 4.0 permite introducir notables mejoras en la automatización de los procesos de producción por medio de sistemas autónomos inteligentes con funciones de autoconocimiento, autooptimización y autopersonalización. Herramientas como los sistemas ciberfísicos (CPS), Internet de las cosas industrial (IIoT), los macrodatos, la inteligencia artificial industrial (IAI), la computación en la nube, los robots autónomos, las cadenas de bloques y la producción aditiva complementan un sistema inteligente integrado de máquinas capaces de comunicarse entre sí y con las personas, y de realizar tareas autónomas en la toma de decisiones o a nivel productivo.

VERSATILIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Tanto los proveedores como los productores de equipos originales de la industria automovilística están sujetos a normativas cada vez más estrictas en materia de combustible. Ello fomenta el uso de materiales livianos para reducir las necesidades de combustible, y de piezas y componentes reutilizables. La preparación para la Industria 4.0 también proporciona a los fabricantes de equipos originales y a los proveedores la versatilidad necesaria para ajustar fácilmente las especificaciones de producción a nuevas normativas técnicas y medioambientales, en función de las necesidades de los compradores.

FUNCIONES DE AUTOCONTROL

A medida que las instalaciones de producción se adaptan cada vez más a la producción durante 24 horas, la fiabilidad de los equipos pasa a ser más crítica. Las plantas habilitadas para la Industria 4.0 cuentan con sólidos sistemas de supervisión para identificar posibles problemas de mantenimiento antes de que se produzcan tiempos de inactividad. Esa tecnología puede utilizarse asimismo en los automóviles con objeto de reducir lacadencia de averías imprevistas.

CAPACIDAD DE PERSONALIZACIÓN

Los conductores manifiestan cada vez el deseo de personalizar la configuración de sus vehículos. El proceso habitual de producción de automóviles no permite esa personalización. No obstante, la evolución a la Industria 4.0 presenta el potencial de ofrecer a los fabricantes de automóviles la capacidad no sólo de personalizar vehículos, sino de reducir los plazos de entrega de dichos vehículos.

FLEXIBILIDAD DE RED

Los fabricantes de automóviles tienen plantas de producción en todo el mundo. Los productores preparados para la Industria 4.0 pueden conectar de manera estratégica todas esas plantas. Si el nivel de producción o de demanda fluctúa, las operaciones pueden trasladarse de una instalación a otra, en función de las necesidades.

Cuadro 4 - Principales ventajas que ofrece la Industria 4.0 en el sector de la automoción

La metodología de la ONUDI sobre Kaizen Digital, o "producción ajustada en la era digital", se rige por el enfoque de clases magistrales descrito anteriormente y utiliza los métodos

habituales de mejora continua, en particular con respecto a los flujos de información y a la aplicación de las tecnologías de la Industria 4.0, como se indica a continuación:

- Permite analizar las deficiencias en la utilización de la información, en particular el proceso de obtención, tratamiento y preparación de datos y sus peculiaridades, incluidos los datos sobre clientes, capacidad operacional, pedidos, utilización, producción, calidad, medio ambiente, existencias e inventario.
- Facilita la evaluación de la capacidad de optimización de procesos mediante la aplicación de tecnologías digitales.

La metodología Kaizen Digital integra:

- Los métodos eficaces del Sistema de producción de Toyota (TPS), adaptados a nuevos requisitos
- Las mejoras que se logran mediante la aplicación de tecnologías de la Industria 4.0, facilitadas por:
 - el análisis del uso de los datos, en particular la identificación de deficiencias y la propuesta de medidas de mejora;
 - la participación de los participantes en el proceso, incluidos los trabajadores de la planta y los planificadores de la producción;
 - la cooperación con proveedores tecnológicos eficaces.

Los elementos principales de la metodología Kaizen Digital son los siguientes:

- Enfoque en la mejora continua de sistemas, procesos y métodos existentes
- Aplicación en plantas de producción de la Industria 4.0
- Realización de transformaciones por etapas
- Necesidad de realizar pocas inversiones en el plano tecnológico

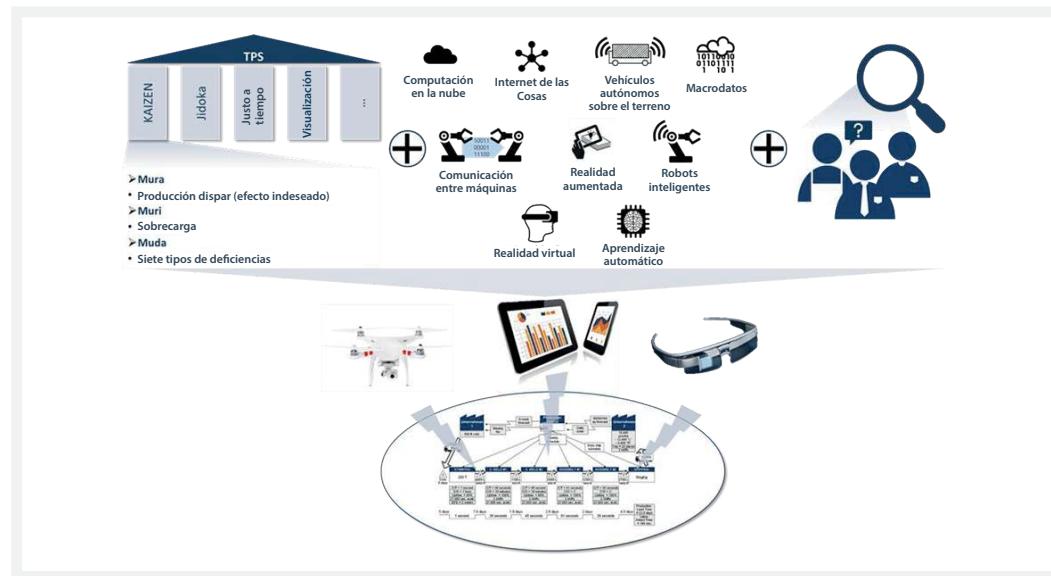


Figura 21 - Kaizen Digital

El análisis Kaizen Digital permite elaborar medidas para racionalizar los procesos de producción y los correspondientes flujos de información, y se proponen mejoras basadas en la tecnología para casos de uso específicos. El objetivo principal es lograr beneficios, en particular ahorro de tiempo de trabajo o ganancias financieras sobre la base de elementos tangibles y la mejora de la calidad.

La siguiente etapa es la evaluación de viabilidad y la aceptación de casos de uso específicos, la definición de IFR para cada uno de ellos y la planificación una hoja de ruta para su

aplicación. A tal efecto, se describen los datos, las tecnologías y los soportes físicos necesarios, así como su interacción para cada caso de uso, con arreglo a un marco establecido.

La metodología Digital Kaizen debe aplicarse en empresas que se encuentran en fases avanzadas de aplicación de métodos de producción ajustada y que consideran la digitalización una de las prioridades de su desarrollo futuro.



Figura 22 - Supresión sostenible de las causas subyacentes de las deficiencias identificadas

RESULTADOS DEL PROYECTO:



A continuación se presenta la estructura simplificada de una clase magistral Kaizen Digital:

- 1 Establecimiento de un grupo de trabajo en la empresa, definiendo el alcance y los objetivos de futuras intervenciones, en consonancia con los objetivos fijados. Antes de iniciar las intervenciones, es necesario analizar los avances registrados en la empresa en materia de transformación digital y realizar los ajustes pertinentes. Por otro lado, conviene tener en cuenta lo siguiente:
 - a. Iniciativas pasadas, en curso o previstas, para implantar soluciones digitales, así como estrategias y prioridades (en su caso);
 - b. Concienciación sobre las ventajas y dificultades en relación con la Industria 4.0 a todos los niveles, en particular con respecto a los trabajadores de la planta y a la alta dirección.
- 2 Análisis de la situación visitando la planta de producción, entrevistando a los empleados y comparando la planificación del proceso con la situación real de la planta.
- 3 Evaluación del potencial, preparación de intervenciones y análisis de la viabilidad.
- 4 Análisis de la infraestructura y selección de posibles proveedores tecnológicos adecuados.
- 5 Aplicación, control y estabilización.

EJEMPLO: Al aplicar la metodología Kaizen Digital en Belarús se identificaron las ocho esferas potenciales de mejora que se muestran en la Figura 23.



Figura 23 - Esferas potenciales de mejora en Belarús tras la aplicación de Kaizen Digital

Esfera de mejora	Recomendación	Repercusión
1 ÚNICA FUENTE FIDEDEDIGNA PARA LA RESERVA DE MATERIAL	<ul style="list-style-type: none"> Establecer una base de datos a raíz de los proveedores de datos existentes Aprobar y presentar digitalmente las solicitudes diarias de material 	Ahorro de tiempo de trabajo - ELEVADA
2 INTRODUCCIÓN DE PANTALLAS INFORMATIVAS EN LOS TALLERES	<ul style="list-style-type: none"> Instalar pantallas centrales informativas en los talleres Usar dichas pantallas para obtener información sobre la producción en curso, las mejoras del control de calidad, la repetición de sesiones de formación, la situación de seguridad, etc. 	Mejora de la calidad - MEDIA
3 INTEGRACIÓN DE ETAPAS DE ELABORACIÓN DE PLANTILLAS Y DE PROCESO MANUAL EN EL SISTEMA ERP	<ul style="list-style-type: none"> Introducir conjuntos de datos en formularios digitales Enviar los formularios para su ulterior aprobación, tratamiento o análisis en formato digital 	Ahorro de tiempo de trabajo - ELEVADA
4 SEGUIMIENTO DIGITAL DEL FLUJO DE MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> Implantar una interfaz digital en el sistema ERP en los lugares del taller en los que se entregan las piezas (por ejemplo, escáneres) Utilizarla como mecanismo digital para confirmar la entrega de piezas 	Ganancia de tiempo de trabajo - ELEVADA
5 PRESENTACIÓN DE INSTRUCCIONES DE TRABAJO	<ul style="list-style-type: none"> Instalar una pantalla con instrucciones de trabajo en cada puesto de trabajo Introducir digitalmente las instrucciones de trabajo (en el sistema ERP) y asociar las pantallas al ERP Alentar a los trabajadores a que proporcionen directamente su opinión a los fabricantes de piezas mediante la tecnología "bolígrafo rojo", e instalar un buzón digital para que los trabajadores formulen propuestas y observaciones 	Mejora de la calidad - MEDIA
6 PLANIFICACIÓN AUTOMATIZADA DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS	<ul style="list-style-type: none"> Facilitar la planificación digital de la producción mediante el uso conjunto de datos de los productos y del proceso de fabricación Registrar el proceso de fabricación, los plazos de entrega, etc., y mantenerlos al día Utilizar algoritmos para planificar de forma centralizada el programa de producción diario 	Ganancia de tiempo de trabajo - ELEVADA
7 ACTIVACIÓN DE LA LOGÍSTICA DIGITAL	<ul style="list-style-type: none"> Notificar digitalmente a los transportistas cuando las piezas están listas para su transporte Enviar las rutas de transporte a los transportistas e imprimir automáticamente las etiquetas identificativas de las piezas 	Ganancia de tiempo de trabajo - ELEVADA
8 LOCALIZADOR DE UBICACIONES DE ALMACENAMIENTO DIGITAL	<ul style="list-style-type: none"> Asignar materias primas a almacenes específicos Escanear los materiales entregados para localizar su lugar de almacenamiento correcto Acceso a la información sobre el lugar de almacenamiento del material cuando se asigne a los trabajadores tareas de producción que requieran piezas 	Beneficio financiero - ELEVADA



Observaciones finales

Las herramientas y la metodología presentadas en la presente publicación forman parte del Programa de la ONUDI para la industria automovilística implantado en Belarús. El marco general de ejecución de proyectos abarca las siguientes fases:

- 1 FASE INTRODUCTORIA
- 2 FASE DE IMPLANTACIÓN DEL PROYECTO, que consta de dos tipos de actividades:
 - a) acuerdos sobre optimización de procesos y aumento de la productividad
 - b) actividades de formación y aumento de la concienciación
- 3 FASE FINAL, destinada a garantizar la sostenibilidad y la institucionalización de los resultados.

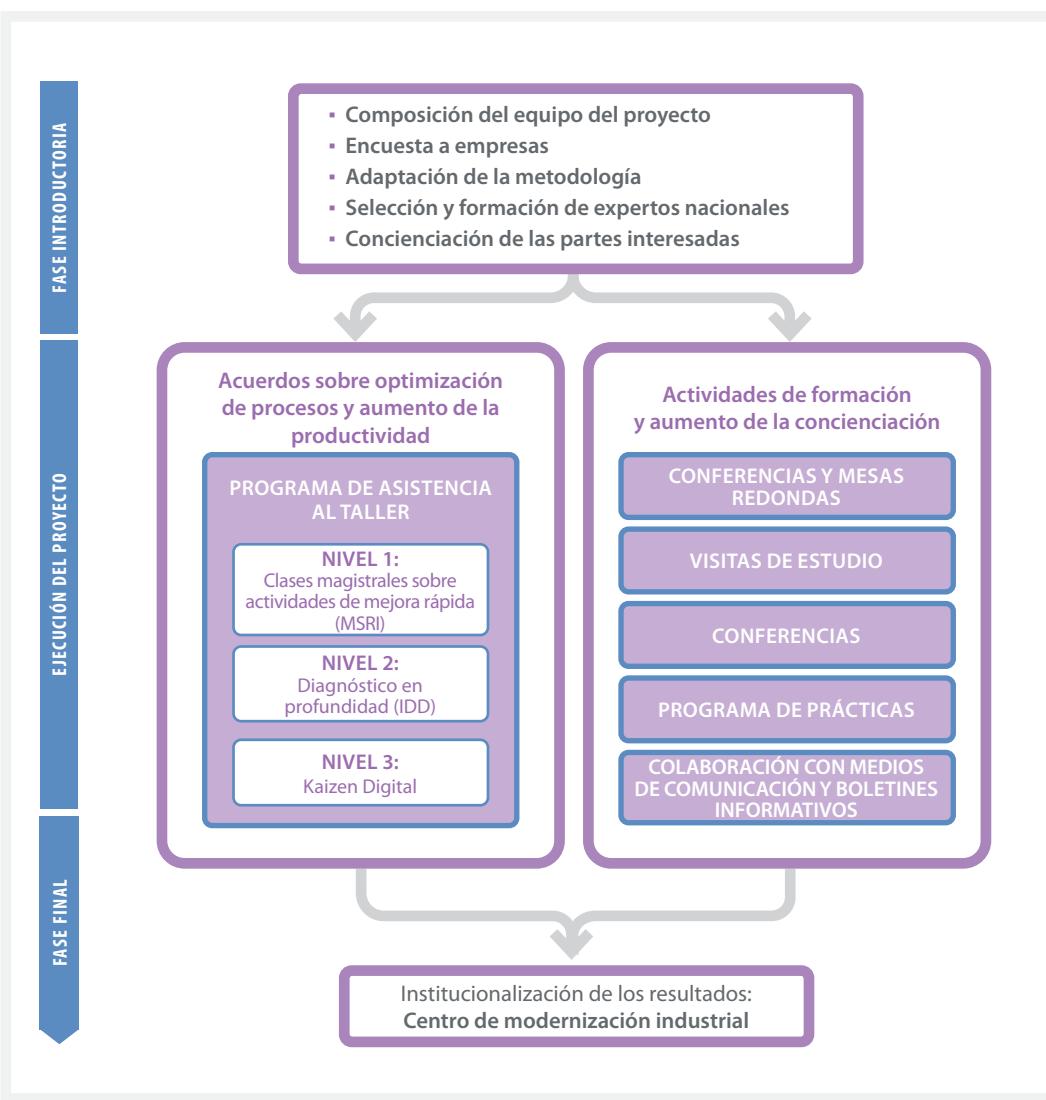


Figura 24 - Principales fases del marco de ejecución de proyectos

La fase introductoria incluye un estudio de las empresas, la adaptación de la metodología, la composición del equipo del proyecto, la selección y formación de expertos nacionales, y la organización de conferencias y talleres introductorios para difundir información sobre el proyecto, las metodologías utilizadas y las tareas previstas.

Las actividades de optimización de los procesos y la productividad incluyen la búsqueda de

empresas que desempeñaron la función de clientes del proyecto, y la negociación con las mismas, así como la aplicación directa de los servicios del proyecto.

Las actividades de formación y de difusión de información incluyen visitas de estudio, conferencias en el marco de cursos de formación profesional para especialistas y directivos de empresas, y programas de prácticas.

Acrónimos

AI	Inteligencia artificial (<i>Artifical Intelligence</i>)
BNTU	Universidad Técnica Nacional de Belarús
CAD	Diseño asistido por computador (<i>Computer Assisted Design</i>)
C-C-E	Calidad-coste-entrega
CMV	Cadena mundial de valor
CPS	Sistemas ciberfísicos (<i>Cyber-Physical Systems</i>)
CRM	Gestión de relaciones con los clientes (<i>Customer Relationship Management</i>)
CSR	Responsabilidad social empresarial (<i>Corporate Social Responsibility</i>)
ERP	Planificación de recursos empresariales (<i>Enterprise Resource Planning</i>)
GM	General Motors
GPS	Sistema mundial de determinación de posición (<i>Global Positioning System</i>)
IAI	Inteligencia artificial industrial (<i>Industrial Artificial Intelligence</i>)
IDD	Diagnóstico en profundidad (<i>In-Depth Diagnostics</i>)
IFR	Indicador fundamental de rendimiento
IIoT	Internet de las cosas Industrial (<i>Industrial Internet of Things</i>)
IoT	Internet de las cosas (<i>Internet of Things</i>)
JIT	Justo a tiempo (<i>Just in Time</i>)
MCA	Enfoque de clase magistral (<i>Master Class Approach</i>)
ML	Aprendizaje automático (<i>Machine Learning</i>)
MRP	Planificación de recursos de producción (<i>Manufacturing Resource Planning</i>)
MSRI	Clases magistrales sobre actividades de mejora rápida (<i>Master-classes for Rapid Improvement Events</i>)

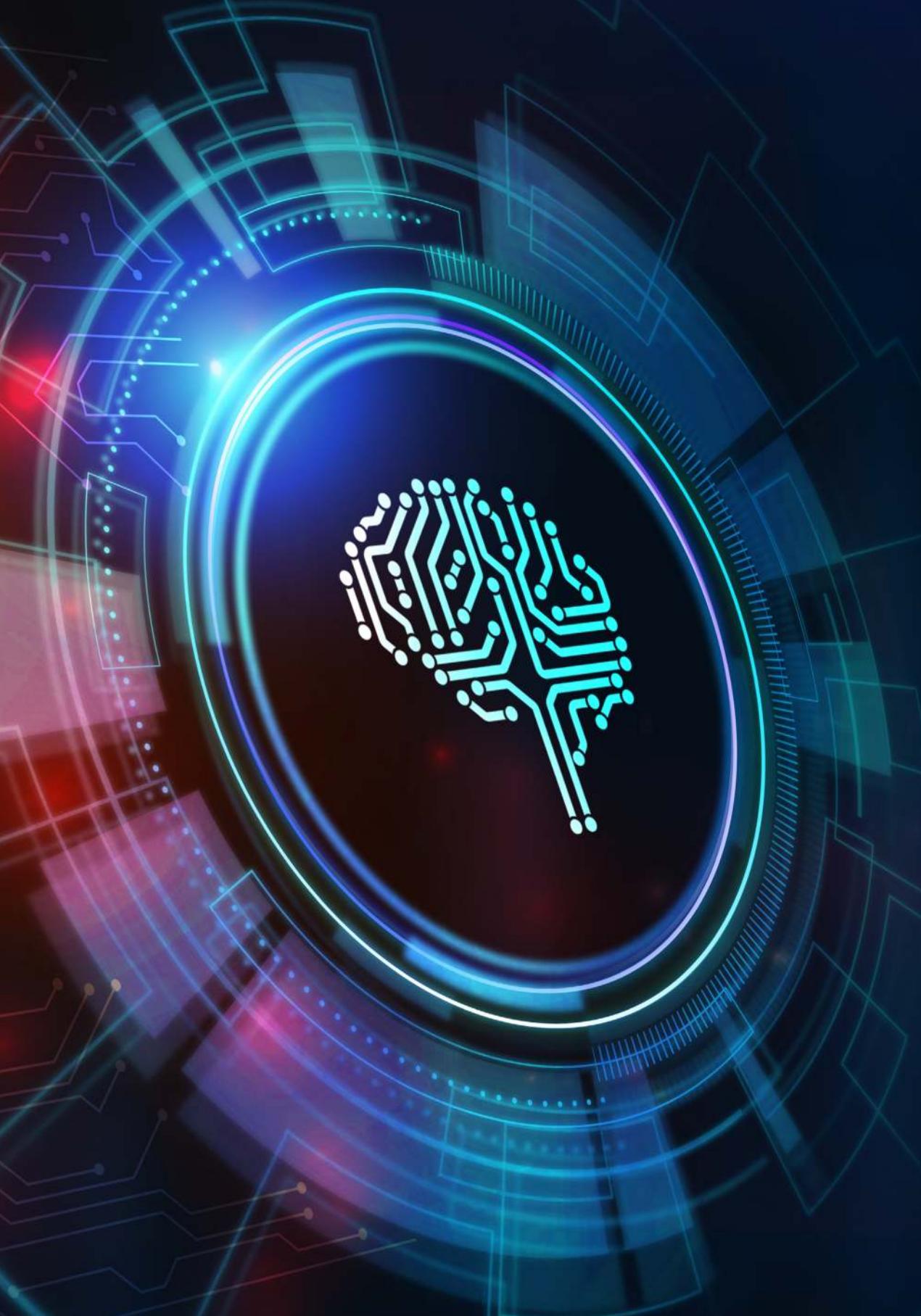
OEM	Fabricante de equipos originales (<i>Original Equipment Manufacturer</i>)
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PoET	Prueba del tiempo transcurrido (<i>Proof of Elapsed Time</i>)
PoS	Prueba de participación (<i>Proof of Stake</i>)
PoW	Prueba de trabajo (<i>Proof of Work</i>)
PYME	Pequeña y mediana empresa
QDT	Tolerancia a defectos de calidad (<i>Quality Defect Tolerance</i>)
RFID	Identificación por radiofrecuencia (<i>Radio Frequency Identification</i>)
SMED	Intercambio de herramientas en menos de 10 minutos (<i>Single Minute Exchange of Die</i>)
TI	Tecnología de la información
TIC	Tecnología de la información y comunicación
TPM	Mantenimiento productivo total (<i>Total Productive Maintenance</i>)
TPS	Sistema de producción de Toyota (<i>Toyota Production System</i>)
VSM	Ánálisis del flujo de valor (<i>Value Stream Maps</i>)
WIP	Trabajo en curso (<i>Work in Progress</i>)

Lista de figuras

FIGURA 1: Beneficios de la cultura de producción ajustada: Fuente: <i>Applied Lean Consulting</i>	9
FIGURA 2: Orden establecido para representar un VSM	13
FIGURA 3: Análisis del flujo de valor productivo (fuente: <i>Learning to See: Rother y Shook</i>)	13
FIGURA 4: Tablero de herramientas en el que falta un par de alicates	18
FIGURA 5: Ejemplo de las ventajas que brinda la aplicación de la metodología Seiso 5S	19
FIGURA 6: Las auditorías 5S deben realizarse para cada zona; la puntuación relativa a los equipos se muestra en un cuadro de rendimiento	20
FIGURA 7: Proceso SMED	21
FIGURA 8: Cuadro de registro de SMED	22
FIGURA 9: Curva evolutiva de fallos con forma de bañera	23
FIGURA 10: El Mantenimiento productivo total es responsabilidad de muchos departamentos de la empresa, de ahí su nombre	23
FIGURA 11: Aplicación de la metodología TPM con respecto a la producción ajustada	24
FIGURA 12: Modelo de producción ajustada sostenible	25
FIGURA 13: La IIoT facilita la recopilación, el intercambio y el análisis de datos a escala mundial	27
FIGURA 14: Tres propiedades principales de los macrodatos (o "3V")	29
FIGURA 15: Visualización analítica de macrodatos	30
FIGURA 16: La producción aditiva permite depositar material con arreglo a formas geométricas precisas	33
FIGURA 17: Cuatro características clave de las cadenas de bloques	35
FIGURA 18: Principales características de la inteligencia artificial	39
FIGURA 19: Características principales del enfoque MCA	43
FIGURA 20: Ilustración: Diagrama de tipo espagueti	50
FIGURA 21: Kaizen Digital	52
FIGURA 22: Supresión sostenible de las causas subyacentes de las deficiencias identificadas	53
FIGURA 23: Esferas potenciales de mejora en Belarús tras la aplicación de Kaizen Digital	54
FIGURA 24: Principales fases del marco de ejecución de proyectos	57

Lista de cuadros

CUADRO 1: Problemas habituales que dificultan el flujo de una sola pieza	12
CUADRO 2: Señales más utilizadas en los sistemas Kanban	14
CUADRO 3: Acrónimo recordatorio de ocho posibles desperdicios	17
CUADRO 4: Principales ventajas que ofrece la Industria 4.0 en el sector de la automoción	51





ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
Centro Internacional de Viena
Aptdo. de Correos 300, 1400 Viena, Austria
Teléfono +43 1 260260
www.unido.org

