

BENEFICIOS AMBIENTALES DERIVADOS DE *LEAN PRODUCTION*

I.Q. Marise Keller dos Santos¹

Consultora del Centro de Producción más Limpia
Universidad de Montevideo

Resumen

Este trabajo presenta la relación entre la aplicación de los principios de *lean production*² en procesos industriales y los beneficios ambientales adicionales que se generan. Generalmente, de acuerdo con EPA (2001), “*lean production* se concentra en la eliminación de todos los residuos³ generados por las actividades de una empresa”. Normalmente, no se toman en consideración los residuos cuando se analizan las pérdidas organizacionales en un proceso: superproducción, tiempo de espera; transporte, variables de proceso, inventario, movimiento de piezas y productos con defectos.

Una de las causas es el hecho que muchas empresas administran la gestión de residuos con un enfoque puramente legal, o sea volcado puramente al cumplimiento de las legislaciones ambientales, prevaleciendo un enfoque de remediación, en lugar de preventivo, para los residuos generados en un proceso. Las acciones sobre la fuente de generación de una pérdida o residuo y las soluciones generadas surgen de un cuestionamiento a la acción de los diversos actores, de las variables operacionales del proceso y de la tecnología empleada.

Inicialmente se presenta una relación entre las pérdidas y la generación de residuos ambientales, en la producción de los diversos elementos del proceso y en las operaciones, considerando el flujo de trabajo y el flujo de productos.

A continuación, se presenta la relación entre los beneficios para la producción derivados de las aplicación de las herramientas de *lean production* así como los beneficios ambientales adicionales derivados, que normalmente no son considerados en una evaluación tradicional de optimización de procesos.

Esta relación será evidenciada y analizada a través de estudios de casos de *lean production* y prevención ambiental aplicados a procesos productivos.

1. Introducción

¹ Nota Trad: Extraído del Trabajo de la disciplina de *Produção Enxuta* do curso de Maestría Profesional en Ingeniería de Producción – Porto Alegre, Julio 2002 – Traducido al español por el Centro de Producción más Limpia (Universidad de Montevideo) – Programa FOMIN-UM de Promoción de la Producción Eoeficiente en PYMES de Uruguay (ATN/ME-8723-UR)

² Nota Trad.: En esta traducción se mantiene el término en inglés “*lean production*”, conocido también como “producción ajustada”.

³ En este trabajo, el término residuos será utilizado para designar tanto los residuos sólidos propiamente dichos como las emisiones atmosféricas, los efluentes líquidos y las pérdidas de energía.

Lean production, de acuerdo con Ohno (1997), “surgió de la necesidad” de producir pequeñas cantidades de muchas variedades para atender una demanda baja. Esta fue la característica del mercado encontrada por Japón en el período de post-guerra. El desafío enfrentado por Japón fue la inserción en un mercado internacional caracterizado por la producción y comercialización en gran escala y por el dominio de Europa Occidental y Estados Unidos.

Así surgió el concepto del Sistema Toyota de Producción, caracterizado por el aumento de la eficiencia en la producción a través de la eliminación consistente y completa de desperdicios y manteniendo un importante respeto hacia la humanidad (Ohno, 1997).

Su implementación en una empresa podrá ser exitosa solamente si existe una cabal comprensión de los principios sobre los cuales el sistema está basado. La minimización de costos es el principio fundamental, y esta minimización está determinada por el cliente, en la medida en que éste es quien determina el precio de venta.

Este principio hace que la empresa busque la total minimización de pérdidas para que pueda obtener el mayor beneficio posible. La transformación de una producción en “*lean production*” exige una total readecuación de principios tradicionales de producción, tales como:

Producción tradicional	<i>Lean production</i>
Grandes lotes	Lotes pequeños
Grandes stocks	Stock cero
Producción basada en proyecciones	Producción contra pedidos

Esta readecuación será exitosa solamente si es apoyada y practicada tanto por la alta gerencia como por los trabajadores.

Las siete pérdidas de la producción son (Shingo, 1996):

- Superproducción;
- Espera;
- Transporte;
- Procesamiento;
- Stock;
- Desperdicio en los Movimientos;
- Desperdicios en la elaboración de productos defectuosos.

De acuerdo con Shingo (1996), las pérdidas no son iguales en estatus o en efecto. En relación al proceso deben lograrse primero mejoras enfocadas a la ingeniería de valor y al análisis de valor. La evaluación del producto a través de la ingeniería de valor y de la mejora de los métodos o tecnologías de procesos permite identificar, a través de cuestionamientos como “por qué hacemos determinado producto y por qué usamos determinado método de fabricación”, la posibilidad de mantener o mejorar la calidad del producto y minimizar sus costos de fabricación.

Este abordaje inicial en la implementación de *lean production* en una empresa posibilita una gran oportunidad de minimización de residuos pues, similarmente al enfoque utilizado en las diversas metodologías de minimización de residuos, a través de preguntas como “por qué generamos determinados residuos en esta operación y qué

hacer para no generar más este residuo”, permiten mejorar también la calidad del producto fabricado.

El ejemplo que sigue muestra como se efectuó un abordaje preventivo con el objetivo de minimizar impactos ambientales, de salud ocupacional, y costos de fabricación causados por la generación de residuos internamente en la planta industrial de una empresa.

Estudio de caso 1: Sustitución de materia prima en el procesamiento de paragolpes: utilización de plástico ABS en lugar de plástico reforzado con fibra de vidrio

Descripción del caso: Los paragolpes de camiones son piezas de material no metálico. Existen diversos materiales pasibles de ser utilizados; la mayor limitante en la elección de una materia prima adecuada es que esta sea resistente al choque y a la abrasión. En la empresa, estas piezas estaban fabricadas con materias primas adecuadas desde el punto de vista técnico, pero peligrosas (tóxicas) o no reciclables tales como fibra de vidrio. La opción más adecuada para resolver el problema presentado fue sustituir las piezas producidas con fibra de vidrio con un sistema de termoformado de piezas en plástico ABS.

Inversión: R\$ 200.000

Beneficio económico: R\$ 180.000/año (el nuevo sistema permitió una reducción del precio de venta de 35%. De acuerdo con el precio inicial el beneficio sería de R\$ 240.000,00/año)

Beneficio ambiental: No generación de residuos peligrosos para la disposición final - 29,9 t/año. El nuevo residuo es 100% reciclable.

Beneficio técnico: Tecnología más eficiente – Reducción de etapas y de retrabajo. Antes: 1 conjunto/día – Después: 6 conjuntos/día

Beneficio de Salud Ocupacional: Eliminación de la manipulación de materiales peligrosos (utilización de materia prima tóxica).



Equipo de termoformado



Piezas de ABS termoformadas

En lo que respecta a la prevención ambiental (*Pollution Prevention* o P2), esta es definida por la *United States Environmental Protection Agency* (1998) como una estrategia aplicada a procesos productivos, la cual enfatiza la eliminación y/o reducción de: pérdidas de tiempo, energía, residuos sólidos, efluentes líquidos y emisiones atmosféricas en la fuente de generación.

Algunos de los objetivos de la P2 son:

- eliminar y/o reducir la generación de residuos sólidos, emisiones atmosféricas y efluentes líquidos;
- conservar los recursos naturales y materiales;
- prevenir descargas y pérdidas accidentales;
- prevenir pérdidas de productos.

La evolución de las estrategias de protección ambiental hasta la prevención fue larga. Según Rodhe y Lindqvist (1993), la década de 1950 y las anteriores se caracterizaron

por una estrategia de dilución de los residuos en el medio ambiente. Fue la era del medio ambiente “infinito”, cuando éste parecía capaz de absorber cualquier tipo de agresión.

La década de 1960 vio el surgimiento de la estrategia de control, más específicamente el abordaje de comando-y-control, fruto de una sociedad que ya no soportaba más la falta de cuidado de las grandes corporaciones, y exigía un control más directo, generalmente estatal, sobre las empresas contaminantes. A través de una legislación específica, bajo pena de multa o clausura, las empresas fueron obligadas a adoptar las mejores tecnologías disponibles para el tratamiento de los residuos, conocidas como tecnologías de fin de tubería.

La creciente presión de los organismos de control ambiental sobre las empresas, así como la tendencia a mayores exigencias en los límites de emisión, provocaron un aumento en los costos de las empresas, tanto por las altas inversiones necesarias para adquirir las nuevas tecnologías de control y tratamiento, como por los costos operacionales generados por aquellos nuevos equipos y la necesidad de una disposición adecuada de los residuos.

En la década de 1960, la solución parcial encontrada fue el reciclaje de los residuos, cuando éste era técnicamente posible y económicamente viable. El reciclaje podía ser externo, cuando una empresa se hacía responsable por la recuperación de las materias primas e insumos agregados de los residuos, como interna, cuando la propia empresa procuraba reutilizar sus residuos, recuperando las materias primas e insumos originales, o encontrando un uso alternativo para ellos.

En resumen, cuando la saturación volvió imposible el simple descarte de los residuos en el medio ambiente, se volvió necesario el control directo del impacto ambiental generado por la producción industrial, lo cual con el tiempo, gravó a las empresas. La primera solución visualizada fue el reciclaje, que permitió la recuperación parcial de materias primas e insumos descartados como residuos.

El salto siguiente fue la percepción de que este desperdicio no era inherente al proceso productivo y que su reducción, quizás eliminación, era posible. De esta forma surgieron las estrategias de prevención ambiental, con sus diversas denominaciones: disminución o no generación de residuos, tecnologías más limpias, producción más limpia, minimización de residuos, etc.

Según Huisingh (2000) fue una empresa, la Minnesota Mining & Manufacturing Corporation, 3M, quien dio el primer paso conocido, creando en 1975 un programa denominado Pollution Prevention Pays (la prevención de la contaminación paga), marco inicial de una estrategia de prevención. La idea era identificar los residuos y, con el conocimiento de las técnicas disponibles, transformarlos en recursos potenciales y lucro. Para ello, la estrategia adoptada fue la eliminación de los residuos en la fuente donde eran generados, identificando si el problema era administrativo, de mantenimiento o tecnológico. El programa involucró no solamente a los directores, ingenieros y supervisores, sino a todos los empleados, tomando en consideración las sugerencias de todos.

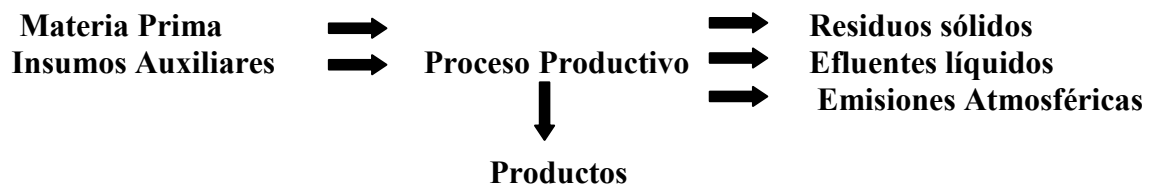
Luego, otras empresas adoptaron programas semejantes y comenzaron a implantarse

proyectos de mayor alcance, con metodologías mejor estructuradas, principalmente en Europa y EUA (por ejemplo: Prisma, Prepare, EP3, Progress, Procedure, Precari, etc). A pesar del escepticismo inicial, pues se dudaba que la metodología fuese efectiva en países desarrollados, la práctica mostró que aún en las empresas de esos países había mucho espacio para minimización de residuos y optimización en el uso de materias primas e insumos.

Las conclusiones más importantes del proyecto PRISMA fueron:

- Más de 200 oportunidades de mejora identificadas, siendo:
- 30% de mejor cuidado operacional (good housekeeping),
- 30% de cambios en materias primas e insumos,
- 30% de cambios tecnológicos,
- 10% de cambios en los productos.
- Ninguna empresa conocía completamente sus residuos,
- Se disponía de muchos datos, pero no se consideraba la relación entre ellos.

La estrategia de prevención ambiental parte de la constatación de que: “Todos los tipos de residuos ambientales generados en un proceso productivo tienen su fuente de generación en las diversas etapas (proyecto, especificaciones y adquisición de materias primas, operaciones, almacenamiento, etc.) que lo componen durante la transformación de las materias e insumos en productos.”



Puede concluirse entonces que en una planta industrial:

- Los residuos (emisiones atmosféricas, efluentes líquidos y residuos sólidos, pérdidas de energía), se componen a partir de las materias primas, materiales auxiliares e insumos;
- Los residuos se originan durante la aplicación de técnicas y tecnologías empleadas en las diversas etapas de transformación de materias primas en productos;
- Algunos de los agentes transformadores de materias primas en residuos son trabajadores y equipos (tecnología);
- Los residuos pueden requerir un almacenamiento provisorio junto a la fuente de generación del proceso, y luego de la acumulación de una cantidad determinada deberán ser transportados hasta un local externo al proceso para su almacenamiento provisorio y, posteriormente, deben ser transportados hasta un área de tratamiento y/o disposición final (por ej: viruta del proceso de mecanizado, almacenada en recipiente adecuado, junto a la máquina de mecanizado hasta alcanzar un volumen determinado, para su recolección por personal de la empresa para depositarlo provisoriamente junto a los demás residuos dentro de la empresa. Este residuo es enviado periódicamente por la empresa para otra empresa que lo recicla);
- Los residuos son generados con un tiempo de proceso;
- La minimización de piezas con defectos y los residuos sólidos, minimiza los costos de proceso y los costos ambientales (costos de tratamiento, disposición final, transporte de piezas defectuosas, etc);
- Los residuos necesitan ser removidos por trabajadores para un área externa a la planta industrial;

- El trabajador está expuesto a materias primas y residuos clasificados como tóxicos y peligrosos para su salud, de acuerdo con las normas del Ministerio de Salud y de Medio Ambiente de Brasil.

Las conclusiones descritas pueden ser evidenciadas a través de la comparación entre *lean production* y prevención ambiental, en la siguiente tabla:

Tabla 1: Aspectos Comparativos de la aplicación de los principios de *Lean Production* y de Prevención Ambiental

	<i>Lean production</i>	Prevención Ambiental
Concepto	Pérdida: es cualquier actividad que no contribuye a las operaciones, tales como: espera, acumulación de piezas semi-procesadas, re-manipulaciones, pasaje de material de mano en mano - Shingo (1996)	Residuo ambiental: generado a partir del uso ineficiente de materias primas e insumos en el proceso
Generación de	Producto: La transformación de materia prima en productos ocurre en un proceso a través de un flujo de masa en el tiempo y en el espacio físico.	Residuo: La transformación de materia prima en residuos ocurre en un proceso a través de un flujo de masa en el tiempo y en el espacio físico.
Proceso Continuo	En la mejora de la eficiencia del proceso industrial	En la mejora de la eficiencia de la transformación de materias primas y auxiliares en productos durante el proceso industrial
Acciones en la fuente de generación para eliminación o minimización	De desperdicios de tiempos y movimientos en las diversas etapas de un proceso industrial	De residuos (sólidos, líquidos, atmosféricos y energía) en un proceso industrial
Desperdicio	Identificar el desperdicio que generalmente no es tenido en cuenta porque se considera como una parte natural del trabajo diario - Shingo (1996)	Identificar el residuo ambiental que generalmente no es tenido en cuenta porque se considera intrínseco al proyecto, proceso o tecnología utilizada
Trabajador	Preocupación en ahorrar trabajadores y no ahorrar mano de obra, Ohno (1977). Trabajo en equipo. Identificación de soluciones en equipo. Trabajadores más preparados en el conocimiento de las técnicas y tecnologías empleadas en el proceso de fabricación (MacDuffie apud King & Lenox, 2000)	La eliminación y/o minimización de residuos ambientales mejora las condiciones de salud ocupacional y seguridad. Trabajo en equipo; búsqueda de soluciones en equipo para no generar y minimizar residuos.
Trabajo en equipo y necesidad de establecimiento de nuevos relacionamientos	Entre alta gerencia, gerencias, gerente/trabajador, proveedor / comprador	Entre alta gerencia, gerencias, gerente/trabajador, proveedor / comprador
Proveedores	Just-in-time/Kanban	Una de las probables fuentes de generación de residuos, como sustitución de embalajes, sustitución de materias primas por otras menos tóxicas, contaminación de materias primas, etc.
Establecimiento de compromisos para el éxito en la implantación de los sistemas	Involucramiento total de la alta gerencia	Involucramiento total de la alta gerencia
Costos	Disminución de pérdidas = Proceso productivo eficiente = lucro	Disminución de residuos ambientales = proceso productivo eficiente = materia prima transformada en productos y no en residuos = menores costos ambientales de disposición y tratamiento
Identificación de la generación - "causa"	- 5 Por qué	- Dónde se genera el residuo? - Quién genera el residuo? - Cómo es generado el residuo? - Por qué es generado el residuo? - Qué hacer para evitarlo?

De acuerdo con Helper, Clifford e Rozadowski (1997), ser ambientalmente adecuado no imposibilita el funcionamiento de una operación eficiente y *lean*, ni genera una *lean production*. Tanto en las entrevistas realizadas como en los resultados presentados en su trabajo, queda claro que ellos encontraron diversos ejemplos de *lean production* como un complemento de adecuación ambiental, resultantes de buenas prácticas sobre la calidad y la productividad. También encontraron ejemplos de prácticas de *lean production* en conflicto con prácticas ambientales. La mayoría de estos últimos casos se debió al principio "*lean*" de satisfacer los deseos de los clientes en cuanto a calidad y durabilidad, aun cuando ello significara embalaje extra (no reciclable), o el uso de materiales más tóxicos, como por ejemplo anti-oxidantes más efectivos.

Sin embargo, el trabajo muestra una serie de ejemplos que son simultáneamente capaces de reducir la contaminación y aumentar la eficiencia por medio de la adopción de innovaciones en las prácticas de producción (aplicando *lean production*) y en gestión ambiental preventiva.

De acuerdo con Helper (1997), no existió una fusión entre el concepto de prevención ambiental con los conceptos de pérdidas descritos por Shingo. Como él intentó evidenciar, a través del análisis del proceso con el enfoque de la mejora a través de *lean production*, en algunos momentos se confunden tanto los resultados obtenidos por *lean production* como los resultados obtenidos por la aplicación de principios de prevención de la generación de residuos ambientales en un proceso. Buscando el incremento de la productividad y de la calidad a través de la reducción continua de residuos, esta estructura focaliza la atención gerencial sobre nuevas cuestiones, permitiendo superar las contradicciones tradicionales. Estas nuevas cuestiones incluyen la reducción de los tiempos de *set-up* (instalación), la cual permite una producción de menor stock.

Según King e Lenox (2000), a través de un examen teórico y empírico de la relación entre *lean production* y desempeño ambiental de una empresa, se encuentran fuertes evidencias que *lean production* complementa la reducción de residuos y la reducción de impactos ambientales.

Los mismos autores afirman que la adopción de *lean production* reduce los costos marginales de gerenciamiento ambiental y, consecuentemente, conduce a un mejor desempeño ambiental. Las tres hipótesis empleadas para estas conclusiones son:

- Cuanto más se comprometa una empresa con *lean production*, más fácilmente llegará a adoptar un sistema de gerenciamiento ambiental formal;
- Cuanto más se comprometa una empresa con *lean production*, generará menos residuos en la fuente y buscará menos soluciones de tratamiento y disposición final de sus residuos;
- Cuanto más se comprometa una empresa con *lean production*, menor será su impacto ambiental.

2. Desarrollo

Según Shingo (1996), el sistema Toyota de producción, o *lean production*, “Es un sistema que procura la eliminación total de las pérdidas”. *Lean production* se presenta como una solución para procesos productivos que buscan su eficiencia en la elaboración de sus productos. De acuerdo con Shingo, la producción es una red de procesos y operaciones. La transformación de materias primas en productos ocurre en un proceso a través de un flujo de masa en el tiempo y en el espacio físico.

Las operaciones son definidas como el trabajo realizado a través de acciones en el espacio y en el tiempo entre máquinas y operadores, para transformar la materia prima e insumos en productos. *Lean production* se propone analizar separadamente el proceso, examinando su flujo de materiales, y las operaciones realizadas en la transformación de estos materiales en productos.

Los elementos de un proceso productivo son:

- procesamiento;
- inspección;
- transporte;
- espera.

El procesamiento se caracteriza por el cambio físico en la materia prima o en su calidad. De acuerdo con Shingo, si se analiza la mejora de un proceso desde el punto de vista del elemento “procesamiento”, dicha mejora puede ocurrir de dos formas:

- a través de la ingeniería de valor, preguntando: “¿Cómo puede modificarse el diseño del producto manteniendo su calidad y disminuyendo costos?”
- a través de tecnologías de producción, de fabricación, preguntando: “¿Cómo mejorar la fabricación del producto?”

La aplicación de conceptos de *ecodesign* a productos significa que el ambiente (calidad, funcionalidad, estética, ergonomía e imagen) ayuda a orientar la dirección de las decisiones del diseño de un producto.

El enfoque ambiental preventivo aplica los conceptos de Ecodesign preguntando: “¿Cómo puede modificarse el diseño de un producto considerando el impacto ambiental de sus materiales constituyentes, garantizando la misma calidad?”.

El empleo de tecnologías limpias permite una producción más eficiente en la transformación de materia prima en productos, con el menor impacto ambiental posible. Podemos citar el concepto de “mejor tecnología disponible”⁴.

En esta segunda forma, para alcanzar la mejora de un proceso, se cuestiona cómo ejecutar adecuadamente las operaciones en la fabricación de este producto considerando la tecnología empleada. Considerando el aspecto ambiental preventivo de esta opción, se busca identificar a través de las variables técnicas operacionales las opciones de no generación de residuos ambientales y las opciones de nuevas tecnologías limpias para aplicar en el proceso, como por ejemplo: tecnologías de mecanizado sin aceites refrigerantes, limpieza por ultrasonido de piezas en procesos de tratamiento de superficie, empleo de fulones automatizados y compartimentados para la operación de curtido en curtiembres, cabinas de pintura electrostáticas.

<i>LEAN PRODUCTION</i>	<i>PREVENCIÓN AMBIENTAL</i>
Mejorar el producto a través de la ingeniería de valor	Mejorar el producto a través del enfoque de Eco-design
Mejorar las tecnologías de fabricación del producto	Empleo de tecnologías limpias para la fabricación del producto

La segunda posibilidad de análisis en la producción es la acción desde el punto de vista del elemento “inspección” para eliminar pérdidas, cuyo desempeño puede mejorarse por medio de dos enfoques al proceso:

- inspección por juicio, la cual no impide la generación de defectos; descubre los defectos después que éstos ocurren, disminuyendo por los tanto los errores de inspección;
- inspección informativa, que disminuye la generación de defectos en el proceso.

⁴ Según la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (Environmental Protection Agency – EPA), cuando un estándar ambiental a ser alcanzado e indicado para un determinado sector industrial, el mismo debe seguir los estándares obtenidos por la “mejor tecnología disponible” (*Best Available Technology – BAT*) o sea, un método existente que comprobadamente permite que aquella industria alcance las metas deseadas por la EPA. No son clasificados como BAT prototipos o tecnologías experimentales.

Según Shingo (1996), el objetivo de una inspección debe ser preventivo. Una comparación entre el objetivo propuesto por Shingo del elemento inspección y los principios de la prevención ambiental, confirma la complementariedad de los dos enfoques, de acciones en la fuente de generación para prevenir la producción de defectos en los productos, pues los productos con defectos son residuos de los procesos.

El enfoque preventivo de acción en la fuente de generación de productos con defecto, o residuos, puede ser implementado en un proceso productivo a través de métodos “Poka-Yoke”:

- controlando el equipo que está produciendo para que, en el momento en que el error es identificado, el equipo vuelva a ser accionado solamente después que esa falla haya sido corregida;
- advirtiendo con una señalización de aviso accionada cuando la falla se produce, alertando al responsable de la actividad, junto a la máquina, de la existencia del problema. Cabe destacar que el proceso no es interrumpido y la cantidad de residuos, piezas producidas con defecto, depende de la rapidez en la resolución del problema.

LEAN PRODUCTION	PREVENCIÓN AMBIENTAL
Los métodos de inspección informativa permiten alcanzar defecto cero, actuando sobre la fuente de generación del defecto, buscando soluciones para evitarlo	Las metodologías de prevención actúan en la fuente de generación del residuo, buscando soluciones para evitarlo

El tercer elemento de proceso a ser analizado para la minimización de pérdidas es el transporte. Este elemento, de acuerdo con Shingo (1996), no agrega valor al producto. Podemos decir por analogía que el transporte del residuo producido dentro de un proceso no agrega valor al producto, por el contrario, agrega costos.

La eliminación del transporte, y no la mejora de las operaciones de transporte en *lean production*, es la que permite efectivamente aumentar la eficiencia del proceso. La mejora del layout, la organización del flujo de procesamiento del producto, permite la minimización del transporte y trae como resultado, según Shingo (1996):

- Eliminación de horas-hombre de transporte;
- Feed-back más rápido de informaciones referentes a la calidad para ayudar a reducir los defectos;
- Reducción de horas-hombre al reducir o eliminar esperas de lote o de proceso;
- Ciclo de producción reducido.

En este elemento, el beneficio ambiental derivado de adecuaciones en el layout, permite un mejor control ambiental, a través del empleo de los indicadores de desempeño ambiental por producto producido. Las máquinas, agrupadas por célula de producción de un mismo producto, deberán generar cantidades de residuos segregados por producto producido, dentro de un margen de tolerancia, permitiendo así controlar efectivamente el flujo de material de esta célula. Este control podrá permitir la mejora continua de los sistemas de calidad y ambiental del producto en base al análisis de los indicadores obtenidos. Estos indicadores pueden permitir y facilitar el empleo de la ingeniería de valor en el análisis del producto.

Cabe destacar también que el residuo necesita ser transportado periódicamente desde su fuente de generación en el proceso hacia el exterior de la planta industrial, pudiendo, en

caso se produzca una mezcla en la fuente de generación de diferentes residuos sólidos por ejemplo, y de diferentes clasificaciones, aumentar la cantidad de residuos peligrosos⁵ generados por este proceso y, consecuentemente, sus costos de tratamiento y disposición final.

El ejemplo citado por Helper, Clifford y Rozwadowski (1997), evidencia la necesidad de comunicación e interacción en una empresa entre la gerencia de producción y la gerencia ambiental. Problemas detectados en la tratabilidad de residuos (variaciones en las características de un efluente líquido a ser tratado en la planta de tratamiento de efluentes de la empresa), por ejemplo, pueden indicar que existe o existió falta de eficiencia en la transformación de materia prima e insumos en productos del proceso.

<i>LEAN PRODUCTION</i>	<i>PREVENCIÓN AMBIENTAL</i>
Mejorar el transporte de materiales eliminando la función de transporte a través de adecuaciones de layout	La mejora del layout permite el establecimiento de un monitoreo de los indicadores ambientales por producto

El cuarto elemento, Shingo (1996), que analizado puede contribuir para la mejora del proceso, es la eliminación del stock. Según ese autor, existen dos tipos de espera relacionadas con el stock:

- Stock entre procesos (espera del proceso): acumulación de stock excesivo para ser procesado o entregado,
- Lotes de ítems no procesados esperando por el proceso;

En la espera del proceso el stock excesivo es generado cuando:

- Las tasas de defectos son sobreestimadas;
- Hay anticipación en la programación de la producción

Como conclusión, Shingo (1996), comenta que las esperas por proceso ocurren por desequilibrios e inestabilidades entre procesamiento, inspección, transporte y otros elementos. La eliminación de flujos irregulares de producción, defectos, roturas de máquinas o tiempos excesivos de preparación, permite que los problemas sean corregidos en su origen, permitiendo así la eliminación de stocks.

Analizando la generación de stocks en procesos productivos, su eliminación contribuye directamente a la minimización en la generación de residuos. Admitir tasas de defectos sobreestimadas es establecer, anticipadamente, una generación de residuos. Por lo tanto, eliminando la posibilidad de defectos, se eliminan stocks y también los residuos.

En relación con la causa de inestabilidades en un proceso, como por ejemplo rotura de máquinas, la generación de residuos en el momento de parada y ajustes en la partida de máquinas tiene siempre un valor a ser considerado; eliminando esta inestabilidad, se elimina la necesidad de stocks y también la generación de residuos.

Otros factores relacionados con la generación de residuos por stocks se deben a que el propio stock está, durante su tiempo de espera entre proceso y embarque en expedición hacia el cliente, vulnerable a accidentes o a plazos de validez, por ejemplo, posibilitando

⁵ De acuerdo con la norma brasileña NBR 10004 los residuos se clasifican en: Clase I – Peligrosos, Clase II – No-inertes y Clase III – Inertes. En caso se produzca una mezcla de residuos Clase I con residuos Clase III, el residuo resultante será clasificado como Clase I, no importando la proporción entre los dos. El residuo Clase I necesita disposición adecuada, en ambiente controlado.

que algunas piezas, o aun todo el lote, se conviertan en productos o piezas semi-acabadas fuera de especificación, o residuos.

<i>LEAN PRODUCTION</i>	<i>PREVENCION AMBIENTAL</i>
Eliminar la generación de stocks los puntos débiles entre procesamiento, inspección, transporte y otros elementos	La eliminación de las causas de generación de stocks, puede minimizar la cantidad de residuos

El análisis de las operaciones de un proceso también puede contribuir para su mejora y, según Shingo (1996), las operaciones se clasifican en:

- operaciones de set-up, como por ejemplo ajuste y remoción de herramientas;
- operaciones principales, acciones que ejecutan realmente la operación principal;
- holguras marginales, actividades ligadas indirectamente con la operación: lubricación, remoción de rebabas, ejemplos de holguras marginales en la operación y holguras marginales entre operaciones, abastecimiento de materiales, y por último holguras marginales ligadas al personal: fatiga y holguras por necesidades fisiológicas.

La mejora del set-up se alcanza eficazmente a través del cambio rápido de herramientas, o el cambio en un único toque. El set-up se divide en:

- set-up interno, operaciones que se ejecutan solamente con la máquina parada;
- set-up externo, operaciones que pueden ejecutarse y concluirse con la máquina en operación.

<i>LEAN PRODUCTION</i>	<i>PREVENCION AMBIENTAL</i>
Mejorar las operaciones de set-up y las operaciones principales en máquinas, minimizando el tiempo de cambio de matrices y herramientas	Minimizar la generación de residuos en los ajustes de arranque de las máquinas

Estudio de caso 2: Cambio en el sistema de sustitución de bobina de materia prima

Descripción del caso:

Antes: En cada cambio de bobinas de materia prima en la línea de revestimiento de molduras se perdían cerca de 15 metros de materia prima (PVC). Causa: El fin de un rollo junto con el tramo inicial del nuevo rollo generaban pérdidas. Solución: Unión de los tramos finales de bobina con la bobina posterior sin parada del proceso (reducción de desperdicio).

- Pérdida de PVC: 1.536 m²/año
- Costo de PVC perdido: R\$ 2.042,88/año

Mejora Implantada: Modificación en el sistema de sustitución de bobinas, sin detención del proceso

- Pérdida de PVC: 225,60 m²/año
- Costo de PVC perdido: R\$ 300,04/año

Beneficio económico: R\$ 1.742,84/año

Beneficio ambiental: Reducción de 85,30 % en desperdicios de materia-prima - PVC

Beneficio técnico: Reducción en el tiempo de cambio de bobina



Línea de revestimiento de moldura	Piezas producidas
--	--------------------------

La evaluación de las operaciones principales, de acuerdo con Shingo (1996), promueve mejoras a nivel de las operaciones esenciales y auxiliares, empleando, adaptando o automatizando tecnologías en el proceso. *Lean production* propone la mejora a través del empleo de dos técnicas, el uso de operaciones multi-máquinas y la pre-automatización.

La técnica de operaciones multi-máquinas está basada en dos principios básicos. El primer principio afirma que la máquina depreciada se emplea para fabricación de productos sin costos, mientras que los trabajadores que las operan tienen un costo permanente.

Este principio tiene como premisa, en relación al aspecto costos, priorizar las actividades que mantengan al trabajador siempre produciendo respecto a aquellas que mantengan la máquina produciendo siempre, o sea la máquina puede permanecer desactivada en un proceso, pero el trabajador no puede permanecer sin actividades productivas.

El segundo principio, basado también en el aspecto de reducción de costos, prioriza esta reducción frente a altas tasas de operación de máquinas.

El empleo de nuevas tecnologías, en el proceso para la obtención de mejoras en las operaciones esenciales, ciertamente permitirá una minimización del impacto ambiental, principalmente si la opción para la elección de la nueva tecnología a ser utilizada está basada en el concepto de tecnologías limpias.

El análisis de un proceso bajo la óptica de la operación multimáquinas para la obtención de mejoras en un proceso, tiene una dependencia bastante fuerte con el factor capacitación del trabajador, lo que permite asociar el factor humano entre las causas de generación de residuos ambientales: trabajadores sin una preparación adecuada, operando inadecuadamente máquinas complejas, son causa de generación de residuos y/o productos fuera de especificación.

LEAN PRODUCTION	PREVENCION AMBIENTAL
Mejorar las operaciones principales a través de la mejora de las operaciones esenciales y auxiliares por medio de técnicas de operaciones multimáquinas y pre-automatización.	Minimizar la generación de residuos ambientales en la fuente, en las operaciones principales de un proceso productivo, a través del análisis de las técnicas y tecnologías empleadas en un proceso. Este análisis, permite la identificación de las limitaciones de la tecnología actualmente empleada en el proceso, relacionando las ventajas económicas y ambientales con el empleo de tecnologías limpias.

Estudio de caso 3: Reemplazo de matrices simples por matrices dobles

<p>Descripción del caso: En una empresa del sector metal-mecánico se identificó la excesiva generación de chatarra en el proceso de producción de engranajes. A través del reemplazo de matrices simples por matrices dobles se alcanzó una reducción del 10% en el consumo de acero, así como una menor generación de residuos.</p> <p>Inversión: R\$ 50.000,00</p> <p>Beneficio económico: R\$ 87.000,00 al año</p>
--

Beneficio ambiental: Reducción en la generación de 30,6 t de chatarra de acero/año
Beneficio técnico: Aumento de 50 % de productividad

De acuerdo con Shingo (1996), el uso de pre-automatización como propuesta de mejora en un proceso necesita, para una evolución completa, de un trabajo manual hasta la automatización completa en 23 etapas. En las primeras 20 etapas ocurre la mecanización del trabajo manual, lo cual representa un costo relativamente bajo para una empresa en relación a los recursos financieros invertidos, garantizando 90% de resultados. Posteriormente, se dan las etapas que permiten la automatización total, donde las inversiones necesarias son mayores, justificadas por el alto costo tecnológico necesario para permitir que la máquina detecte errores operacionales y también los corrija.

<i>LEAN PRODUCTION</i>	<i>PREVENCION AMBIENTAL</i>
Mejorar las operaciones principales a través de la mejora de las operaciones esenciales y auxiliares, con técnicas de pre-automatización, hasta alcanzar la automatización total.	Minimizar la generación de residuos en su origen en las operaciones principales de un proceso productivo, a través de la identificación de técnicas que, aplicadas al proceso, permitan continuamente la transformación más eficiente de materia prima en producto o producto semi-terminado.

3. Conclusiones

Este trabajo no permite una conclusión definitiva y medible de los beneficios ambientales derivados de la aplicación de los principios de la *lean production* en procesos productivos. Sin embargo, se demuestra que la minimización de pérdidas y la minimización de residuos es el objetivo tanto de la producción más limpia como de la prevención ambiental, y que los dos enfoques procuran alcanzarlo a través de acciones preventivas en la fuente de generación.

Las barreras enfrentadas en la implantación de los principios de *lean production* y de la prevención ambiental también presentan gran similitud. Ambos enfoques necesitan superar barreras culturales, como la resistencia al cambio, caracterizada por la actitud: “siempre lo hicimos así y siempre funcionó”, y barreras organizacionales, como la falta de compromiso de la dirección y la gerencia en el desarrollo de un programa de implantación. Más allá de ello, la necesidad de cambio de paradigmas y las dificultades de medir los beneficios obtenidos, también son comunes a ambos enfoques.

En resumen, este trabajo procura demostrar que la implantación de acciones gerenciales integradas en los procesos productivos, con la aplicación conjunta de los principios de *lean production* y de la prevención ambiental, permitiría una eficiencia cada vez mayor en la transformación de materias primas en productos, así como una generación cada vez menor de residuos en un espacio de tiempo de proceso.

Estos resultados son posibles pues, a pesar de que *lean production* no se centre en un mejor desempeño ambiental, ella busca el incremento de la productividad y de la calidad a través de la reducción continua de pérdidas, permitiendo así superar sus propios objetivos iniciales y generar beneficios ambientales adicionales para las empresas.

Referencias bibliográficas

SHINGO, Shingeo. **O Sistema de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. 2 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

KING, Andrew; LENOX, Michael. **Lean and Green? an empirical examination of the relationship between lean production and environmental performance**. Nova Iorque: New York University, Leonard N. Stern School of Business, 2000. Disponível na internet: <http://pages.stern.nyu.edu/~aking/>

HELPER, Susan; CLIFFORD, Patricia Gorman, ROZWADOWSKI, Helen. **Can Green Be Lean?** Boston: MIT, The International Motor Vehicle Program, 1977. Submitted to the Academy of Management Annual Meeting. Disponível na internet: <http://web.mit.edu/ctpid/www/imvp/pub9798.html>

HUISINGH, Donald. **Cleaner Production: preventing pollution at source**. Amsterdam: Erasmus University, Erasmus Center for Environmental Studies, 2000.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1977. Trad. Cristina Schumacher

JONES, Neil; KLASSEN Robert. Management of Pollution Prevention: Integrating environmental technologies in manufacturing. In: SARKIS, Joseph (ed.). **Greener Manufacturing and Operations: from design to delivery and back**. Sheffield: Greenleaf Publishing, Dec. 2001.

RODHE, Håkan; LINDHQUIST, Thomas. **Towards a Preventive Environmental Strategy for the Baltic Sea**. Estocolmo: Lund University, 1993

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Office of Research and Development, National Risk Management Research Laboratory, Center for Environmental Research Information. **An Organizational Guide to Pollution Prevention**. Cincinnati: EPA, aug. 2001. EPA/625/R-01/003.