

Impacto de herramientas de mejora en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental en plantas de manufactura de México

Carlos Monge*
Jesús Cruz**
Fabián López***

Resumen

Se propone un modelo matemático para interrelacionar empíricamente las variables manufactura esbelta, la manufactura sustentable y la mejora continua con la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental en plantas de manufactura discreta de Apodaca, NL, México. Dada la complejidad de las interrelaciones del modelo propuesto, se establece que éste sea estimado mediante la técnica estadística de modelación con ecuaciones estructurales basadas en mínimos cuadrados parciales, utilizando indicadores formativos, y empleando el instrumento de medición propuesto por los autores en un estudio ya publicado.

Abstract

A mathematical model is proposed to interrelate empirically the variables lean manufacturing, sustainable manufacturing and continuous improvement, with operational efficiency and environmental responsibility in manufacturing plants located in Apodaca, NL, Mexico. Given the complexity of the interrelationships of the proposed model, is established that this be estimated by the statistical technique of structural equations modeling based on partial least squares using formative indicators, and the scale used by the authors in a previous already published study.

Palabras clave: manufactura esbelta, manufactura sustentable, mejora continua, eficiencia operacional, responsabilidad ambiental, ecuaciones estructurales, mínimos cuadrados parciales.
Keywords: lean manufacturing, sustainable manufacturing, continuous improvement, operational efficiency, environmental responsibility, structural equations, partial least squares.

* Universidad Autónoma de Nuevo León, Escuela de Graduados en Administración e Ingeniería Industrial, México. Correo electrónico: carlosmongep@prodigy.net.mx

** Universidad Autónoma de Nuevo León, Centro de Desarrollo Empresarial y Posgrado, Facultad de Contaduría Pública y Administración, México. Correo electrónico: jesuspbd@prodigy.net.mx

*** Universidad Autónoma de Nuevo León, Centro de Desarrollo Empresarial y Posgrado, Facultad de Contaduría Pública y Administración, México. Correo electrónico: fabian.lopezpz@gmail.com

Introducción

En el presente artículo de investigación se presenta un modelo para determinar empíricamente el impacto que tienen la: *manufactura esbelta*, *la manufactura sustentable* y *la mejora continua* en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental, influenciando el impacto en huella de carbono, la satisfacción de los empleados, resultados financieros y la creación de cultura de sustentabilidad en las plantas de manufactura discreta del municipio altamente industrializado de Apodaca, NL, México. En este sentido, Monge et al. (2013) refieren que el término manufactura esbelta (*lean*) fue introducido en 1990 en occidente con la publicación del libro *La máquina que cambió al mundo* del doctor James P. Womack (Womack et al., 2007) basado en el estudio de cinco años del sistema de producción Toyota realizado por el MIT dentro de su Programa Internacional de Vehículos de Motor (IMVP, por sus siglas en inglés). El libro mostraba cómo la administración, los trabajadores de línea y los proveedores podían trabajar conjuntamente en las plantas de manufactura para mejorar sustancialmente la eficiencia operacional a través de: mejoras de la calidad y de las entregas a tiempo, reducción de costos, velocidad de entrega, tiempos de ciclo, incremento de la productividad por empleado y mejora de la capacidad de la planta sin incremento de personal, impactando positivamente los resultados financieros (Cooper et al., 2008). Resultados similares pueden obtenerse en otros contextos demandantes en conocimiento, como el sector del cuidado de la salud con la aplicación de la cultura esbelta (Toussaint et al., 2013). El enfoque esbelto (*lean*) requiere nuevos hábitos y nuevas habilidades; el concepto esbelto no es un destino sino un viaje, que implica una búsqueda insaciable de la mejora, por lo cual la filosofía esbelta y la manufactura esbelta están estrechamente ligadas con la mejora continua, y ambas con la mejora del desempeño operacional (Monge et al. 2013; Toussaint et al., 2013; Murugesan et al., 2012; Vinohd et al., 2012; Koenigsaecker, 2009; Cooper et al., 2008). Por su parte, Murugesan et al. (2012) y Vinohd et al. (2012) indican que el logro de una mayor eficiencia operacional lograda a través de la manufactura esbelta tiene una influencia significativa, positiva y directa en el logro de ventajas competitivas del negocio, como son: calidad a la primera intención, reducción de tiempos de entrega e incremento de la productividad (Ghosh, 2013).

En cuanto a la *manufactura sustentable*, la interrogante hoy día en la mente de los ejecutivos en el ámbito industrial parece ser la siguiente: ¿hacia dónde deben las organizaciones de manufactura enfocarse para maximizar las utilidades, obtener

beneficios para la sociedad y el planeta?, es decir lograr la triple línea final: *triple bottom line* —utilidades-personas-planeta— (Slaper, 2011), en virtud de los serios problemas medioambientales que presenta el planeta, entre ellos la generación de gases de efecto de invernadero y su impacto en el calentamiento global, provocados principalmente por la emisión de dióxido de carbono CO₂ generado primordialmente por la utilización de combustibles fósiles en las actividades humanas (Boyle, 2004); el CO₂ a su vez, es emitido principalmente por la generación, distribución y consumo de la energía eléctrica, que de acuerdo con la World Wind Energy Association (WWEA) y Boyle (2004) es de aproximadamente 0.60 kg de CO₂ por cada kWh (kilo watt hora eléctrico) utilizado. Afortunadamente, la actitud hacia la responsabilidad ambiental que implica la realización de una manufactura sustentable, es decir, aquella que no sólo se preocupe por los desperdicios considerados dentro de la manufactura esbelta —*sobreproducción, inventarios, esperas, transportación, movimientos, defectos, procesos innecesarios, habilidades no usadas*— (Suzaki, 1987), sino también por los desperdicios ambientales como *energía, agua, emisiones, residuos sólidos/peligrosos, materias primas, transportación y biodiversidad* (Wills, 2009) ha ido en aumento año con año entre los ejecutivos de las empresas a nivel global. Lo anterior lo muestra un alto porcentaje (75%) de los 300 altos de ejecutivos de las empresas Fortune 1000 de Estados Unidos, de acuerdo con una encuesta realizada en 2010 por Harris Interactive por solicitud del conglomerado global francés Eléctrico (Schneider Electric Study, 2011; Bodenhamer, 2011). En dicho estudio se muestra que 88% de los altos ejecutivos encuestados consideran que tienen la responsabilidad moral de hacer a sus organizaciones más eficientes en el uso de la energía, e ir más allá de cumplir únicamente las regulaciones gubernamentales en materia ambiental; el mismo estudio revela también que 75% de los ejecutivos reportaron que la importancia del ahorro de energía se había incrementado en los últimos dos años, indicando la preocupación por el medio ambiente y la sustentabilidad.

Por otra parte, estudios recientes del MIT y BCG realizados longitudinalmente desde 2009 hasta 2012 vía encuesta a un grupo numeroso de líderes corporativos de organizaciones globales (MITSloan y BCG, 2013, 2011, 2009), muestran que un grupo de las compañías van hacia una administración impulsada por la sustentabilidad, y consideran a la sustentabilidad como algo estratégico que debe formar parte de la agenda del negocio, y que puede proveerles ventajas competitivas; sin embargo, el mismo estudio reveló que existe otro grupo de ejecutivos que indicaron que el motivador principal para adoptar acciones sustentables es la

obtención de ahorros económicos, esto último había sido advertido en un estudio previo también conducido por MIT y BCG durante 2009, vía encuesta a altos ejecutivos de organizaciones globales, en el que se observó en los resultados obtenidos que existía un gran interés en los altos ejecutivos por el tema ambiental, pero que pocas organizaciones estaban realmente desarrollando esfuerzos en el tema de la sustentabilidad, limitándose únicamente a satisfacer las regulaciones ambientales (MITSloan y BCG, 2009); estos comportamientos son similares a los que Harris Interactive detectó en el estudio referido líneas arriba, en el que se informaba que 61% de los ejecutivos encuestados mencionaron que adoptarían prácticas sustentables únicamente si éstas les permitían conseguir beneficios económicos (Schneider Electric Study, 2011; Bodenhamer, 2011), contra un reducido 13% que refirieron su preocupación por el medio ambiente. En el caso de México un estudio similar fue conducido por la compañía consultora KPMG (2009), mostrando resultados parecidos a los ya citados. Aquellas empresas de manufactura preocupadas por adoptar prácticas sustentables únicamente si éstas les reditúan beneficios económicos de corto plazo, asumen tácitamente que ser *responsables ambientalmente* lleva a un deterioro de la rentabilidad del negocio (Wills, 2009).

En el caso particular de México, existe en general escasa conciencia hacia la sustentabilidad en la industria, lo que queda de manifiesto a través de un artículo publicado en la revista *Manufactura*, y que es un referente en México para las plantas de manufactura. De acuerdo con el artículo referido (Rodríguez, 2011) sólo 30% de las empresas en México cuentan con un sistema para la medición del consumo de energía eléctrica, algo sin duda preocupante si se considera que 60% de la energía eléctrica es demandada por el sector industrial, y ya se ha mencionado cómo este insumo contribuye a la generación de CO₂ al ambiente, lo que revela la poca preocupación de las empresas por ser más eficientes en el uso de energía y más sustentables. Es determinante, pues, una mayor conciencia sustentable por parte de los ejecutivos de las plantas de manufactura, que les permita ver con formalidad y claridad la relación benéfica entre la: responsabilidad ambiental, la manufactura y las utilidades del negocio, a través de una mayor eficiencia operacional.

Quedan de esta manera estrechamente ligadas la manufactura esbelta con la manufactura sustentable, y esta última con la mejora continua, como lo establecen estudios de Monge et al. (2013), Murugesan et al. (2012), Koenigsacker (2009) e Imai (1986). Respecto al segundo aspecto considerado en este artículo,

manufactura sustentable, Monge et al. (2013) Jiang et al. (2012), Millar et al. (2011), así como estudios recientes de MIT y BCG (2013, 2011, 2009) y Bergmiller et al. (2011), además de los de Millar et al. (2011), Murugesan et al. (2012), Wills (2009) muestran que la manufactura sustentable apoya el logro de un mejor desempeño operacional y mejora en el desempeño ambiental, apoyando los esfuerzos de sustentabilidad de las plantas e impactando directa y positivamente los: resultados financieros (RF), impacto de la huella de carbono (IHC), cultura de sustentabilidad de la organización (CSO) y satisfacción de los empleados (SE).

El tema es particularmente importante si se considera que la manufactura a nivel global consume grandes cantidades de recursos y genera enormes cantidades de desperdicios; baste decir que la manufactura a nivel mundial consume un tercio de la energía mundial y genera 36% del total del CO₂ (Millar et al., 2011) el principal gas de efecto de invernadero (GEI), en México Irastorza et al. (2010) indican que la industria generadora de energía contribuye con 21% y la manufactura con 8% a la emisión del mencionado gas; sin embargo, es la industria quien más energía consume contabilizando 60%, mientras que sólo 30% de las empresas en México cuentan con un sistema de medición energética, lo que manifiesta la escasa conciencia ambiental de las empresas (Rodríguez, 2011); es por lo tanto fundamental que las plantas de manufactura adopten prácticas sustentables (Bergmiller et al., 2011) o manufactura sustentable.

En cuanto a la *mejora continua*, otro de los aspectos en estudio en este artículo, Monge et al. (2013), Murugesan et al. (2012), Koenigsaecker (2009) e Imai (1986) refieren que la mejora continua (*kaizen*) es un ingrediente fundamental para la ventaja competitiva, sobrevivencia y crecimiento de las organizaciones; sin embargo la literatura revela que la manufactura esbelta y la mejora continua no han sido bien comprendidas en occidente, y como consecuencia se considera que su implantación consiste únicamente en aplicar herramientas/técnicas esbeltas de manera aislada, y no como un proceso de mejora continua, generándose de esta manera “silos” esbeltos y no una implantación integral que traería grandes beneficios y ventajas competitivas. De acuerdo con Bergmiller et al. (2011) y Liker et al. (2011) esto se debe fundamentalmente a la carencia de compromiso y liderazgo de la alta administración en las plantas occidentales; lo mismo ocurre en otros contextos como el de cuidados de la salud, donde un requisito fundamental de la mejora continua es la actitud hacia ésta en todos los niveles de la organización, desde la alta administración hasta los trabajadores en la línea de acción, y requiere también un verdadero cambio cultural que modifique la

forma como trabaja una organización (Toussaint et al., 2013; Shook, 2010). En el caso particular de las plantas de México, la adopción de la mejora continua, la manufactura esbelta y la manufactura sustentable no se reflejan en acciones de mejora continua, según lo revelan estudios de Gutiérrez (2011), Sánchez (2009) y Bednarek (2009) y que se traduce en la escasa participación de las plantas mexicanas en estos enfoques, ya sea de manera grupal o individual a través de las propuestas individuales de mejora (PIM); en estas plantas el personal confunde la administración por objetivos o el trabajo cotidiano con la mejora continua; en algunos otros casos se realizan esfuerzos aislados como proyectos seis sigma, y en algunas plantas no existe en absoluto orientación sistemática, disciplinada y comprometida de la organización hacia la mejora continua.

Ahora bien, aunque se mencionan con frecuencia en la literatura los efectos positivos que la manufactura esbelta, sustentable y la mejora continua tienen en el desempeño operacional, existen pocos estudios empíricos realizados, particularmente en países en desarrollo, empleando estadística descriptiva (Monge et al., 2013; Gutiérrez, 2011; Millar et al., 2011; Murugesan et al., 2012; Bednarek et al., 2009), modelos de ecuaciones estructurales (Monge et al., 2013; Lee, 2012; Vinohd et al., 2012) o bien alguna otra técnica de análisis multivariado como regresión múltiple, análisis factorial y componentes principales (Murugesan et al., 2012) que vinculen a la manufactura esbelta, sustentable y la mejora continua con la eficiencia operacional y la ventaja competitiva, entendidas éstas como un desempeño sobresaliente en: costo, calidad, velocidad y flexibilidad. Es importante mencionar que los estudios empíricos existentes analizan los aspectos mencionados de manera separada y no de forma simultánea, como propone la presente investigación empírica, lo cual constituye una diferencia significativa y valiosa.

Por otra parte, se reconoce hoy día que la manufactura debe ejercer un rol importante en la búsqueda de la sustentabilidad debido a la gran cantidad de recursos que consume y los desperdicios que genera; en este sentido es importante mencionar que es posible obtener mayor eficiencia en la producción como resultado de la aplicación de la manufactura esbelta, y que esto trae consigo menos consumo de energía, materias primas por unidad, reducción de emisiones al aire y al agua, así como menor generación de residuos sólidos y/o peligrosos y disminución del riesgo de incumplimiento de las regulaciones gubernamentales; es pues determinante la adopción por parte de las plantas de manufactura de iniciativas sustentables (Monge et al., 2013; Millar et al., 2011) que conduzcan a

una mejora de su eficiencia operacional y que les brinde ventajas competitivas, particularmente hoy día, en un entorno globalizado y sumamente competido. Un ingrediente de presión extra para las plantas de manufactura es la creciente conciencia medioambiental de la sociedad y las cada vez más exigentes regulaciones o los compromisos gubernamentales en la materia (Millar et al., 2011). Son justamente estos aspectos mencionados los que inspiran el presente artículo.

Revisión de la literatura

En la elaboración del presente artículo se efectuó una revisión de la literatura existente relacionada con el tema de estudio con el fin de conocer las aportaciones que se han hecho acerca del mismo; los elementos teóricos encontrados proceden de diversas fuentes bibliográficas reconocidas como: revistas indexadas, libros y bases de datos digitales, entre ellas: Scielo México, Scielo Chile, Información Tecnológica Chile, bases de datos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Academic One file, EBSCO Host Academic Search Complete, EBSCO Business Source Complete, EBSCO Econlit with full Text, Springer y Elsevier. La literatura encontrada se relaciona con el planteamiento del problema de investigación y sirvió para identificar el instrumento a ser utilizado en caso de desarrollarse la investigación de manera completa. Asimismo, la revisión de la literatura permitió ubicar las brechas de conocimiento relacionadas con el presente artículo.

Manufactura esbelta

El término esbelto (*lean*) que da inicio a la manufactura esbelta fue introducido por el doctor James P. Womack en 1990 en occidente con la publicación del libro *La máquina que cambió al mundo* (Womack et al., 1990) basado en el estudio de cinco años del Sistema de Producción Toyota realizado por el MIT dentro de su Programa Internacional de Vehículos de Motor (IMVP, por sus siglas en inglés). El concepto esbelto y la manufactura esbelta persiguen mejoras sustanciales del desempeño operacional o como Monge et al. (2013), Gutiérrez (2011), Marugesan et al. (2012) y Bednarek et al. (2009) refieren, ventajas competitivas como: calidad, costo, precio, velocidad en la entrega, consistencia en la entrega, innovación y flexibilidad (mejor, más barato, más rápido y más ágil); esto es posible a través de la identificación y eliminación continua y sistemática de los

desperdicios (actividades que no agregan valor) o “mudas” (término japonés de desperdicios), con el activo involucramiento de todos los empleados de una organización en proyectos de mejora continua (Imai, 1986). La eliminación de las “mudas” como: sobreproducción, esperas, transporte, procesos innecesarios, inventario, movimientos y defectos (Cottyn et al., 2011; Imai, 1986) se realiza a través de cinco principios rectores del pensamiento esbelto: a) definición de valor desde la perspectiva del cliente; b) mapeo de los procesos de producción y de servicios; c) crear flujo en los diferentes procesos; d) jalar la producción, y e) búsqueda de la perfección a través de la mejora continua (Cottyn et al., 2011). La aplicación disciplinada, comprometida y eficazmente lideradas de estos principios eventualmente conduce a las plantas hacia la conversión en empresas esbeltas y a la obtención de enormes beneficios en términos de eficiencia operacional y ventajas competitivas (Ghosh, 2013; Lee, 2012; Murugesan et al., 2012; Vinohd et al., 2012). En relación con la manufactura esbelta y el pensamiento esbelto, existen varios estudios en la literatura (Amin et al., 2013; Austin et al., 2013; Ghosh, 2013; Lee et al., 2012; Vinodh et al., 2012; Murugesan et al., 2012) e incluso algunos de ellos realizados en contextos latinoamericanos (Monge et al., 2013; Gutiérrez, 2011; Bednarek et al., 2009; Cardozo et al., 2011; Millar et al., 2011; Arrieta et al., 2010; Pérez et al., 2011).

Manufactura sustentable

La manufactura sustentable (Monge et al., 2013; Jiang et al., 2012; Millar et al., 2011) basada en principios de sustentabilidad y desarrollo sustentable, a diferencia de la manufactura esbelta, que busca en un proceso de mejora continua reducir o eliminar desperdicios o “mudas”, persigue eliminar los desperdicios ambientales en los procesos productivos que de acuerdo con Wills, (2009) son: energía (particularmente la eléctrica), agua, emisiones al aire, emisiones al agua, uso irracional de materiales, residuos sólidos y/o peligrosos, transportación y daño a la biodiversidad, mejorando así el desempeño operacional y logrando ventajas competitivas. Bergmiller et al. (2011) en otro estudio referen que las plantas de manufactura exitosas en la aplicación de la manufactura esbelta deberían también ser exitosas al implantar principios sustentables y manufactura sustentable; su estudio realizado en plantas de manufactura finalistas del premio Shingo, que es un reconocimiento a la excelencia en la manufactura en plantas de Canadá, Estados Unidos y México, explora la sinergia existente entre la

manufactura esbelta y la sustentabilidad; de esta forma se establece la relación entre la manufactura esbelta y la sustentable. Cardozo et al. (2011) en un estudio reciente en el contexto latinoamericano realizado en 45 plantas pymes productoras de queso de Venezuela para determinar la adopción de prácticas esbeltas y sustentables, refieren que la manufactura esbelta y la manufactura sustentable están vinculadas, y que la falta de adopción de éstas provoca una pérdida de la posición competitiva.

En el contexto de la zona del Caribe, Millar et al. (2011) desarrollaron un estudio descriptivo para determinar el nivel de adopción de la manufactura sustentable en los países de esa región, encontrando que las plantas del Caribe poseen un escaso conocimiento de la manufactura sustentable y la implantación de estas iniciativas es escasa; en México la situación es similar en la adopción de la manufactura sustentable por parte de las empresas, esto puede deberse a la poca cultura de sustentabilidad en la industria de la manufactura, que no les permite ver que el compromiso medioambiental apoya el logro de beneficios económicos (Kidwell, 2006) y simultáneamente mejora la huella ecológica (Slaper, 2011); asimismo, no son capaces de identificar en la combinación de la manufactura esbelta, sustentable y mejora continua la oportunidad de conseguir ventajas competitivas y estratégicas, crear cultura de sustentabilidad y mejorar la calidad, costos, tiempos de entrega, imagen en la comunidad, generar mayor valor para los accionistas y satisfacción de los empleados (MIT y BCG, 2013, 2011, 2009; KPMG, 2009).

Mejora continua

La mejora continua (Imai, 1986), aplicada a la manufactura, es en esencia una filosofía que involucra de manera individual y a través de propuestas individuales de mejora (PIM) o grupal a través de proyectos de mejora (PM), círculos de calidad, grupos pequeños o proyectos seis-sigma, a todo el personal de una organización, desde la alta administración hasta los empleados de línea en la búsqueda interminable de niveles superiores en materia de: calidad, costos, tiempos de entrega, flexibilidad, seguridad y moral de los empleados (Koenigsaecker, 2009); la característica primordial es que los esfuerzos de mejora pueden ser pequeños (*kaiizen*), dramáticos (Innovación) o la combinación de ambos, siempre y cuando dichos esfuerzos sean continuos (Imai, 1986), y es determinante para el éxito de la mejora continua, la activa, motivada y copiosa participación de los empleados.

En cuanto a la mejora continua, los estudios citados en las secciones de manufactura esbelta y manufactura sustentable refieren la realización de acciones de mejora continua (Austin et al., 2013; Ghosh. 2013; Jiang et al., 2012; Lee et al., 2012; Murugesan et al, 2012; Cardozo et al., 2011; Wills, 2009); esto es consistente ya que tanto las iniciativas de manufactura esbelta y sustentable son enfoques de aplicación continua y no puntuales (Bergmiller et al., 2011), condición fundamental para el éxito de ambas iniciativas. Por otra parte, ya fue comentado en las secciones anteriores el impacto de las iniciativas esbeltas y sustentables en el desempeño operacional u eficiencia operacional; de hecho, la manufactura esbelta y la sustentable con frecuencia son consideradas filosofías de mejora continua (Murugesan et al., 2013; Toussaint et al., 2013; Bergmiller et al., 2011; Cardozo et al., 2011). La condición determinante para el éxito de la mejora continua es el involucramiento y apoyos decididos de la alta administración, así como la ejecución de las actividades de mejora de manera sostenida (Bergmiller et al., 2011, Liker et al., 2011), abundante y motivada del personal de manera individual a través de propuestas individuales o grupal por medio de proyectos de mejora interdisciplinarios (Imai, 1986).

Descripción de las hipótesis

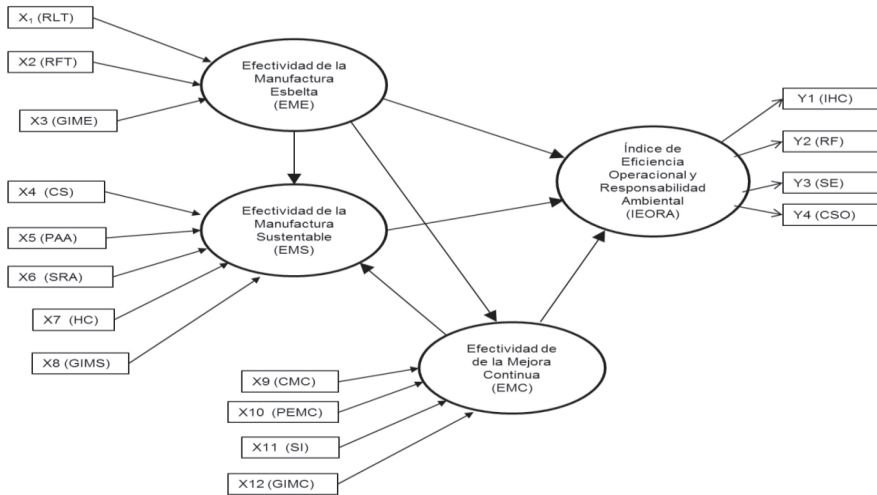
H1. Existe un grado de impacto positivo, directo y estadísticamente significativo similar de las variables: efectividad de la manufactura esbelta (EME), efectividad de la manufactura sustentable (EMS) y efectividad de la mejora continua (EMC) en el índice de eficiencia operacional y responsabilidad ambiental (IEORA), que a su vez influencia positivamente en similar grado a los: resultados financieros (RF), satisfacción de empleados (SE), impacto en la huella de carbono (IHC) y cultura de sustentabilidad de las organizaciones (CSO).

H2. El nivel de influencia positiva, relevante y estadísticamente significativa del IEORA en las variables RF, IHC, SE y CSO es similar.

Modelo gráfico

El modelo gráfico o modelo conceptual propuesto en el siguiente artículo está constituido por cuatro variables latentes, una de ellas es de naturaleza exógena, tres variables endógenas: EMS, EMC e IEORA, tres indicadores exógenos y 13 endógenos.

Figura 1
Modelo gráfico



Fuente: adaptado de Monge et al., 2013.

Descripción de variables e indicadores

Variable latente exógena: efectividad de la manufactura esbelta (EME).

Variables latentes endógenas: efectividad de la manufactura sustentable (EMS), efectividad de la mejora continua (EMC), índice de eficiencia operacional y responsabilidad ambiental (IEORA).

Indicadores exógenos: reducción del tiempo de entrega (RLT), reducción del tiempo de flujo (RFT), grado de implantación de la manufactura esbelta (GIME).

Indicadores endógenos: compromiso con la sustentabilidad (CS), producción de productos y servicios amigables al ambiente (PAA), superación de las regulaciones ambientales (SRA), huella de carbono (HC), grado de implantación de la manufactura sustentable (GIMS), compromiso de la administración con la mejora continua (CMC), participación de los empleados en la mejora continua (PEMC), sugerencias implantadas (SI), grado de implantación de la mejora continua (GIMC), impacto en la huella de carbono (IHC), resultados financieros (RF), satisfacción de los empleados (SE), cultura de sustentabilidad de la organización (CSO).

Estudio de campo

Tipo de investigación

La investigación que se propone es de tipo exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo de los impactos de las variables: EME, EMS, EMC y IEORA en indicadores de desempeño clave de las plantas de manufactura discreta de las plantas de México, como son: RF, SE, IHC y CSO.

Diseño y técnica de la investigación

La técnica de investigación que se propone sea utilizada es no experimental, con un estudio de campo realizado a través del instrumento de medición o escala propuesto por Monge et al. (2013). La encuesta sería aplicada directamente o por correo electrónico a los gerentes de planta o de operaciones, dada la naturaleza de los constructos planteados en el modelo gráfico, las interrelaciones entre éstos y la existencia de más de un constructo dependiente, además de que se persigue la predicción en el modelo propuesto; la técnica estadística multivariante que debe ser utilizada es la de ecuaciones estructurales mediante mínimos cuadrados parciales (PLS SEM, por sus siglas en inglés). Se recomienda esta técnica en vez de la de ecuaciones estructurales basadas en covarianzas, ya que esta última es muy restrictiva en el tamaño mínimo de la muestra que debe ser usada, además de que presupone normalidad de los datos. PLS SEM, por su parte, no asume normalidad y puede ser utilizado con tamaños de muestra reducidos (Hair et al., 2011). Esto es importante dado que el modelo se aplicará a plantas medianas y grandes de municipios industriales y que generalmente no constituyen una gran cantidad. Cabe mencionar que Monge et al. (2013) desarrollaron un modelo similar, sólo que usando una escala con indicadores reflexivos, en tanto que en el presente artículo se propone el empleo de indicadores formativos; en el estudio realizado por Monge et al. (2013) se aplicó el instrumento de medición a 40 plantas de manufactura discreta medianas y grandes del municipio altamente industrializado de Apodaca, NL. En dicho estudio fue probado el impacto positivo, relevante y estadísticamente significativo de la manufactura sustentable, la manufactura esbelta y la mejora continua en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental de las plantas de manufactura de Apodaca, NL.

Elaboración del instrumento (escala)

Para el instrumento de medición o escala se propone la utilización de la escala propuesta por Monge et al. (2013), el cual fue debidamente validado y exitosamente aplicado; los ítems de la escala solicitan respuestas en escala Likert de 1-5 (1-nada y 5-totalmente) o datos duros para medir con mayor efectividad los aspectos asociados a: EME, EMS, EMC e IORA. Debido a las diferencias de escalas usadas en el instrumento, se propone que las respuestas a los ítems sean estandarizadas a valores típicos de “z”. El instrumento mencionado se presenta a continuación.

Cuadro 1
Ítems de la escala

Constructo	Indicador	ITEM
EME	GIME	1. Mapeo de procesos (porciento implantado)
		2. 5S (porciento implantado)
		3. Administración visual y controles visuales (porciento implantado)
		4. Intercambio rápido de moldes (porciento implantado)
		5. Calidad a la primera y dispositivos a prueba de errores (porciento implantado)
		6. Conteos cíclicos (porciento implantado)
		7. Multihabilidades de los operarios (porciento implantado)
		8. Detección automática de defectos (porciento implantado)
		9. Producción nivelada y mezclada (porciento implantado)
	RFT	10. Kaizen - mejora continua (porciento implantado)
	RLT	11. Reducción de tiempo de flujo (porciento de avance)
		12. Reducción del tiempo de entrega (porciento de avance)
EMS		CS
	GIMS	14. Años desarrollando iniciativas sustentables (cantidad)
		15. Las iniciativas sustentables han permitido mejorar la productividad (Likert)
	HC	16. Nivel de reducción de la transportación (porciento de avance)
	PAA	17. Nivel de aplicación del mapeo ambiental (porciento de avance)
	SRA	18. Cuenta con métricos para evaluar el desempeño sustentable (Likert)
		19. Se desarrollan productos medioambientalmente innovadores (Likert)
		20. Las iniciativas sustentables superan las regulaciones de gobierno (Likert)

Constructo	Indicador	ITEM	
EMC	CMC	21. Nivel de compromiso de la administración con la mejora continua (Likert) 22. Cuenta con un sistema de evaluación y seguimiento de proyectos de mejora y/o sugerencias (Likert)	
	GIMC	23. Los proyectos de mejora se orientan a la seguridad de los empleados (Likert)	
	PEMC	24. Personal entrenado en mejora continua (porcentaje) 25. Personal que participa en proyectos de mejora (porcentaje)	
	SI	26. Sugerencias implantadas del total sugerido (porcentaje)	
IEORA	CSO	27. El mejoramiento del ambiente es un motivador para adoptar iniciativas sustentables (Likert) 28. La mejora de la imagen pública es un motivador para adoptar iniciativas sustentables (Likert) 29. Seguir una directriz corporativa es un motivador para adoptar iniciativas sustentables (Likert) 30. Cumplir con la responsabilidad moral fue un motivador para adoptar iniciativas sustentables (Likert) 31. Lograr ventajas competitivas y estratégicas fue un motivador para adoptar iniciativas sustentables (Likert) 32. Los indicadores en materia de sustentabilidad y desempeño operacional están relacionados (Likert)	
		IHC	33. Nivel de mejora en la reducción de CO2 (porcentaje)
		RF	34. La planta ayuda al cuidado del medio ambiente (Likert) 35. Beneficio económico obtenido por la aplicación de iniciativas sustentables (Likert)
		SE	36. La planta realiza proyectos sustentables para el mejoramiento de la seguridad de los empleados (Likert) 37. La ejecución de iniciativas sustentables de la planta le satisfacen e influyen su deseo de permanecer laborando en ella (Likert)

Fuente: elaboración propia.

Selección de la muestra

Para el establecimiento de la muestra se recomienda que ésta sea probabilística y calculada vía fórmula, con un nivel de confianza de 95% y valores de p , y q iguales a 0.5, asimismo que únicamente sean consideradas plantas de manufactura medianas y grandes, ya que Monge et al. (2013) probaron en un modelo parecido, sólo que con una escala reflexiva, la validez tanto del modelo estructural como el de medición, así como su capacidad predictiva; el modelo fue aplicado a una muestra de 40 plantas de manufactura de una población de 60. Para el caso de este artículo se propone el uso de una escala formativa, tomar una muestra

representativa y realizar las pruebas de los criterios de calidad sugeridos por Hair et al. (2011) y Henseler et al. (2009).

Resultados y discusión

En el presente artículo se invita a la aplicación del modelo adaptado de Monge et al. (2013) para la determinación del impacto relevante, positivo y estadísticamente significativo de la EME, EMS y EMC en el IEORA, y a su vez el efecto que tiene el IEORA en la IHC, SE, RF y CSO. El modelo presentado en este artículo es un modelo con variables latentes, relaciones complejas y más de un constructo dependiente, que debe ser operacionalizado con ecuaciones estructurales basadas en mínimos cuadrados parciales (PLS SEM, por sus siglas en inglés), dado que los modelos de ecuaciones estructurales basados en covarianzas (CB SEM, por sus siglas en inglés) no soportan escalas formativas como la que se plantea en este artículo (Hair et al., 2011). El modelo es útil ya que tiene aplicación real y práctica en plantas de manufactura medianas y grandes de México, como fue demostrado por Monge et al. (2013) en el municipio sumamente industrializado de Apodaca, NL; su valor consiste en que es posible predecir comportamientos en el constructo dependiente (endógeno), desempeño operacional y responsabilidad ambiental, e indicadores fundamentales de las plantas (Hölck et al., 2010), por lo cual puede ser utilizado para establecer planes y acciones de mejora claves con un sustento empírico y científico a través de la obtención de índices. Los resultados del modelo deben ser confirmados en su validez y confiabilidad siguiendo los criterios de calidad propuestos por Hair et al. (2011) y Henseler et al. (2009), así como la capacidad predictiva que tiene el modelo para predecir comportamientos de los constructos endógenos EMS, EMC e IEORA a partir del constructo exógeno EME (Coelho et al., 2012; Hair et al., 2011). El modelo puede ser estimado utilizando el paquete de *software* Smart PLS 2.0 (Ringle et al., 2005). En un estudio posterior los autores probarán y publicarán los resultados del modelo establecido en el presente artículo.

Conclusiones

En el presente artículo se propone un modelo matemático complejo adaptado de Monge et al. (2013) para demostrar los efectos relevantes, positivos y estadísticamente significativos de la manufactura esbelta (EME), la manufactura

sustentable (EMS) y la mejora continua (EMC) en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental (IEORA), así como determinar los impactos del IEORA en los resultados financieros (RF), satisfacción de empleados (SE), impacto de la huella de carbono (IHC) y creación de cultura de sustentabilidad de la organización (CSO). El modelo puede ser aplicado en plantas de manufactura discreta medianas y grandes de México. Lo anterior significa que el modelo constituye un mecanismo empírico para medir los efectos de los constructos mencionados en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental, y los constructos referidos, empleados de manera combinada, poseen una capacidad predictiva importante del constructo dependiente eficiencia operacional y responsabilidad ambiental.

Modelos estadísticos complementarios como el de regresión pueden ser usados para estimar desempeños en los indicadores clave de eficiencia operacional de las plantas de manufactura. El modelo propuesto puede ayudar a priorizar acciones específicas de mejora continua y toma de decisiones en la implantación de la manufactura esbelta y sustentable (Hölck et al., 2010).

Líneas de investigación futuras

Aplicar el modelo a plantas medianas y grandes de diversos estados industrializados de México, con el fin de hacer un análisis comparativo de los resultados. Asimismo, resulta conveniente emplear la información que proporciona la corrida computacional del modelo de ecuaciones estructurales del estudio, en específico de los *scores* de las variables latentes, para utilizarlos como datos de entrada en modelos de regresión u otras técnicas de estadística multivariadas, con el fin de generar modelos predictivos del desempeño en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental de las plantas, y prescribir acciones de mejora para los diferentes giros de las plantas de manufactura analizadas (Monge et al., 2013). Es importante también analizar los resultados del modelo, realizando una segmentación de los casos por criterios diferentes, como las heterogeneidades no observadas y no únicamente por variables control.

Referencias bibliográficas

Amin, M. A., y Karim, M. A. (2013). "A time-based quantitative approach for selecting lean strategies for manufacturing organisations", *International Journal of Production Research*, 51(4), pp. 1146-1167.

- Arrieta, J. G., Botero, V. E., y Romano, M. J. (2010). "Benchmarking sobre la manufactura esbelta (*lean manufacturing*) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín, Colombia", *Journal of Economics, Finance and Administrative Science (en línea)*, 15(28), pp. 141-170.
- Austin, D., Saleeshya, P. G., y Vamsi, N. (2013). "A model to assess the lean capabilities of automotive industries", *International Journal of Productivity and Quality Management*, 11(2), p. 195.
- Bednarek, M., y Niño, L. F. (2009). "Methodology proposal for the implementation of lean manufacturing system in selected mexican industrial plants", *Institute of Organization and Management in Industry*, 64(4), pp. 23-34.
- Bergmiller, G. G., y McCright, P. R. (2011). "Lean and sustainability programs: Evidence of operational synergy for lean manufacturers and logical growth toward sustainability", *Review of Business Research*, 11(5), pp. 58-68.
- Bodenhamer, G. (2011). *On the Road to Sustainability, you're going to need a map*. Recuperado de Schneider Electric-Plant Engineering: <http://www.plantengineering.com/single-article>
- Boyle, G. (2004). *Renewable Energy. Power for a sustainable future*. Reino Unido: Oxford Univesrity Press.
- Cardozo, E. R, Rodríguez, C., y Guaita, W. (2011). "Las pequeñas y medianas empresas agroalimentarias en Venezuela y el desarrollo sustentable: Enfoque basado en los principios de la manufactura esbelta", *Información Tecnológica (en línea)*, 22(5), pp. 39-48.
- Coelho, P. S., y Henseler, J. (2012). "Creating customer loyalty through service customization", *European Journal of Marketing*, 46(3/4), pp. 331-356.
- Cooper, R., y Maskell, B. (2008). "How to manage through worse-before better", *MIT-Sloan Managemet Review*, 49(4), verano.
- Cottyn, J., Van Landeghem, H., Stockman, K., y Derammelaere, S. (2011). "A method to align a manufacturing execution system with lean objectives", *International Journal of Production Research*, 49(14), pp. 4397-4413.
- Ghosh, M. (2013). "Lean manufacturing performance in indian manufacturing plants", *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(1), pp. 113-122.
- Gutiérrez, E. (2011). *Lean manufacturing como estrategia de competitividad para las pymes industriales del estado de Tlaxcala*, XVI Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática, México, DF.
- Hair, J. F., Ringle, C. M., y Sarstedt, M. (2011). "PLS-SEM: Indeed a silver bullet", *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), primavera, pp. 139-151.
- Henseler, J., Ringle, C. M., y Sinkovics, R. R. (2009). "The use of partial least squares path modeling in international marketing", *Advances in International Marketing*, núm. 20, pp. 277-319.

- Hölck, C., Ringle, C. M., y Sarstedt, M. (2010). "Management of multi-purpose stadiums: Importance and performance measurement of services interfaces", *International Journal Services Technology and Management*, 14(2/3), pp. 188-204.
- Imai, M. (1986). *Kaizen: La clave de la ventaja competitiva japonesa*. México: CECSA.
- Irastorza, V., y Fernández, X. (2010). "Balance nacional de energía y su relación con el inventario nacional de emisiones (en línea)", *Revista Internacional de Estadística y Geografía México*, 1(1), noviembre, pp. 52-71. Recuperado de http://rde.inegi.org.mx/revista_noviembre_2010/
- Jiang, Z., Zhang, H., y Sutherland, J. W. (2012). « Development of an environmental performance assessment method for manufacturing proces plans”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies (en línea)*, núm. 58, pp. 783-790.
- Kidwell, M. (2006). "Lean manufacturing and the environment: Ignoring the 8th deadly waste leaves money on the table”, *Association for Manufacturing Excellence Target Magazine*, 22(6), pp. 13-18.
- Koenigsaecker, G. (2009). *Leading the Lean Enterprise Transformation*. Estados Unidos: CRC Press.
- Lee, S. (2012). "The impact of manufacturing practices on operational performance”, *Review of Business Research*, 12(5), pp. 184-189.
- Liker, J., y Convis, G. (2011). *The Toyota way to lean leadership*. Estados Unidos: CRC Press.
- Millar, H. H., y Rusell, S. (2011). "The adoption of sustainable manufacturing practices in the Caribbean”, *Business Strategy and the Environment*, núm. 20, pp. 512-526.
- MIT Sloan & BCG Special Report. (2009). *The Business of Sustainability; Findings and Insights from the First Annual Business of Sustainability Survey and The Global Thought Leader's Research Project*. Estados Unidos: MIT Sloan Management Review & BCG Special Report.
- MIT Sloan & BCG. (2011). *Sustainability: The "Embracers" Seize Advantage; Findings from the 2010 Sustainability & Innovations Global Executive Study and Research Project*. Estados Unidos: MIT Sloan Management Review & BCG.
- . (2013). "The Innovation Bottom Line”, *Research Report*. Estados Unidos: MIT Sloan Management Review & BCG.
- Monge, C., Cruz, J., y López, F. (2013). "Medición del impacto de la efectividad de la manufactura esbelta, manufactura sustentable y mejora continua en la eficiencia operacional y responsabilidad ambiental en México”, *Información tecnológica (Chile)*, 24(4), pp. 15-32.
- Murugesan, T. K., Kumar, B. S., y Kumar, M. S. (2012). "Competitive advantage of world class manufacturing system (WCMS) – A study of manufacturing companies in south India”, *European Journal of Social Sciences*, 29(2), pp. 295-311.
- Pérez, J., La Rotta, D., Sánchez, K., y Madera, Y. (2011). "Identificación y caracterización de las mudas de transporte, procesos, movimientos y tiempos de espera en nueve

- pymes manufactureras incorporando la perspectiva del nivel operativo (en línea)", *Ingeniería: Revista Chilena de Ingeniería*, 19(3), pp. 396-408.
- Ringle, C., Wende, S., y Will, A. (2005). *Smart PLS 2.0 M3: Next generation path modeling software*. Hamburgo, Alemania.
- Rodríguez, I. (2011). "Construya la eficiencia energética", *Manufactura Expansión México*, febrero, pp. 41-45.
- Sánchez, P., Rubio, M., Villalba, A., García, J. L., y Arteaga, S. (2009). "Trends in six sigma and lean manufacturing in Mexico inside globalization", *International Journal of Industrial Engineering*, pp. 650-654.
- Schneider Electric Study. (2011). *Execs see energy as business, moral imperative*. Recuperado de Plant Engineering: <http://www.plantengineering.com/single-article>
- Shook, J. (2010). "How to change a culture: Lessons from NUMMI", *Sloan Management Review*, 51(2), invierno, pp. 63-68.
- Slaper, T. F. (2011). "The triple bottom line: What is it and how does it work?", *Journal Indiana University Kelley School of Business*, primavera, pp. 4-8.
- Suzaki, K. (1987), *The new manufacturing challenge*. Estados Unidos: CRC Press.
- Toussaint, J. S., y Berry, L. L. (2013). "The Promise of Lean in health care (on line)", *Mayo Clinic Proceedings*, 88(1), pp. 72-84.
- Vinodh, S., y Dino, J. (2012). "Structural equation modeling of lean manufacturing practices", *International Journal of Production Research*, 50(6), pp. 1598-1607.
- Wills, B. (2009), *Green Intentions*. Estados Unidos: CRC Press.
- Womack, J. P, Jones, D. T., y Roos, D. (2007). *The machine that changed the world: The story of lean production systems*. Estados Unidos: Free Press.