

The background is a solid teal color. In the upper half, there are several overlapping, semi-transparent squares and rectangles of varying shades of teal, creating a layered, architectural effect. Below these shapes, a dark silhouette of a landscape with rolling hills and a horizon line is visible against the teal background.

Administración de operaciones para el desarrollo empresarial

Gabriela Citlalli López Torres,
Salomón Montejano García
y Reyes Hernández Díaz
Coordinadores



Administración de operaciones para el desarrollo empresarial

Gabriela Citlalli López Torres
Salomón Montejano García
y Reyes Hernández Díaz
Coordinadores



Administración de operaciones para el desarrollo empresarial

Gabriela Citlalli López Torres
Salomón Montejano García
y Reyes Hernández Díaz
Coordinadores



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Administración de operaciones para el desarrollo empresarial

Primera edición 2022

D. R. © Universidad Autónoma de Aguascalientes
Av. Universidad 940, Ciudad Universitaria
Aguascalientes, Ags., 20100
editorial.uaa.mx

© Gabriela Citlalli López Torres
Salomón Montejano García
Reyes Hernández Díaz
(Coordinadores)

© Gabriela Citlalli López Torres
Salomón Montejano García
Reyes Hernández Díaz
César Arturo Puerta Jiménez
Gerardo Armando Mejía Bernal
Ma. Mónica Gloria Clara Castillo Esparza
Octavio Hernández Castorena

Alba Rocío Carvajal Sandoval
Mónica Colín Salgado
Juan José Bravo Castillo
Adriana Eugenia Ramos Ávila
Azucena del Carmen Martínez Rodríguez
Idalia Acosta Castillo
Julio César Guzmán Echeverría
Francisco Javier Álvarez Torres
Ma. Loecelia Guadalupe Ruvalcaba Sánchez
Juan Pablo Horn Gallardo
Eliás Olivares Benítez
Omar Rojas

ISBN 978-607-8834-74-7

Hecho en México / *Made in Mexico*

Los contenidos fueron dictaminados por investigadores de reconocida trayectoria y especialistas en la temática en la modalidad doble ciego.

Índice

Introducción

*Gabriela Citlalli López Torres,
Salomón Montejano García y Reyes Hernández Díaz* 9

Capítulo 1. Impacto de las estrategias de administración de operaciones en la eficiencia de las microempresas en Aguascalientes

*Reyes Hernández Díaz, César Arturo Puerta Jiménez
y Gerardo Armando Mejía Bernal* 13

Capítulo 2. Influencia de la administración de materiales sobre el control de la producción

*Salomón Montejano García,
Gabriela Citlalli López Torres
y Ma. Mónica Gloria Clara Castillo Esparza* 29

Capítulo 3. La influencia de la gestión de la cadena de suministro y aspectos productivos en el rendimiento de las PYMES manufactureras <i>Octavio Hernández Castorena, Alba Rocío Carvajal Sandoval y Mónica Colín Salgado</i>	47
Capítulo 4. Análisis del OEE en una industria alimentaria de San Luis Potosí, México <i>Juan José Bravo Castillo, Adriana Eugenia Ramos Ávila, Azucena del Carmen Martínez Rodríguez e Idalia Acosta Castillo</i>	65
Capítulo 5. Inteligencia empresarial y políticas públicas en ciudades inteligentes <i>Julio César Guzmán Echeverría, Gabriela Citlalli López Torres y Francisco Javier Álvarez Torres</i>	81
Capítulo 6. Estrategia de localización de instalaciones agroindustriales compartidas: Istmo de Tehuantepec <i>Ma. Loecelia Guadalupe Ruvalcaba Sánchez y Reyes Hernández Díaz</i>	105
Capítulo 7. Secuenciación de trabajos en una línea de SMT con enfoque multiobjetivo <i>Juan Pablo Horn Gallardo, Elías Olivares Benítez y Omar Rojas</i>	131
Conclusiones <i>Gabriela Citlalli López Torres, Salomón Montejano García y Reyes Hernández Díaz</i>	157

Introducción

A partir de 1850, los sistemas productivos han evolucionado de forma muy rápida, especialmente a partir del último tercio del siglo xx, debido a la globalización y a la competencia empresarial, regida por la capacidad de los países para producir de manera más eficiente que los demás. De esta manera, estos países tienen dominio, a nivel mundial, de los ámbitos industrial y tecnológico; las naciones más desarrolladas son, por consecuencia, los Estados más ricos, en su mayoría producto de sus estrategias de producción.

Esta situación es efecto, precisamente, de dicha evolución que incluye la administración de los sistemas, los procesos y la tecnología. En este sentido, cuando inició la revolución industrial, el esfuerzo del empresario se enfocó en lograr producir lo máximo posible, aun a costa de la seguridad de su personal. Sin embargo, esta forma de proceder tuvo que mejorar al avanzar el tiempo y desarrollar una mejor experiencia en

actividades productivas, logrando la evolución e identificar así diferentes medios para lograr la administración de operaciones, a finales del siglo XIX y principios del XX.

La administración de operaciones tiene como razón de ser, la utilización de técnicas y metodologías que logren la coordinación de las áreas funcionales de la empresa con el área de producción. En esta administración se agrupan técnicas de mejora continua, control de producción, cuidado de la planta y la maquinaria, la logística de la empresa, así como la optimización de procesos, sin importar que sea empresa de bienes o servicios.

Este libro muestra cómo la aplicación de técnicas de administración de operaciones influyen directamente en los resultados de la empresa e indica algunas estrategias para mejorar el desarrollo empresarial. Inicialmente, en el capítulo 1, se menciona la importancia de la utilización de estas técnicas en la eficiencia de los resultados, para utilizar al máximo la capacidad de la planta y eliminar en lo posible las causas que interfieren en este objetivo. En el capítulo 2 se continúa estableciendo el empleo de la administración de operaciones con el fin de lograr al máximo el control de producción y eliminar desperdicios en este aspecto y, asimismo, cumplir con el cliente en tiempo y forma, con el mínimo de costos y pérdidas de recursos.

En el capítulo 3 se deja ver la importancia de la cadena de suministros y las técnicas a utilizar para maximizar los resultados del esfuerzo dedicado a este menester, y a entender la relación que tiene este control con el rendimiento económico y operacional de los procesos relacionados a esta dimensión de la administración de operaciones. De una forma muy definida, en el capítulo 4 se habla sobre la efectividad general de los equipos OEE, la cual es una metodología que pretende monitorear de manera continua el desempeño que se tiene en cada uno de los equipos que forman la cadena de valor, para ubicar y eliminar causas de pérdida y lograr el máximo en el rendimiento de estos.

En el capítulo 5 se hace alusión a la utilización de la administración de operaciones en la generación de políticas públicas, al emplear las técnicas pertinentes para determinar las necesidades de los clientes y encontrar la mejor manera de satisfacer estas necesidades. En el capítulo 6 se hace referencia a una técnica básica de la administración de operaciones, pero aplicada al sector agroindustrial, por lo que se observa que estas se pueden aplicar en cualquier sector y ramo. Por último, en el capítulo 7, se menciona una metodología muy especial denominada Tecnología de Montaje Superficial (SMT), que tiene como

objetivo maximizar los resultados del trabajo en línea, al reducir la duplicidad de trabajos y minimización de errores.

Esta es una obra con gran alcance y que puede dar al lector una idea muy aproximada de lo que es la administración de operaciones y su aplicación al seno de cada organización, de acuerdo con la disponibilidad de la dirección para este propósito.

Gabriela Citlalli López Torres, Salomón Montejano García
y Reyes Hernández



Capítulo 1. Impacto de las estrategias de administración de operaciones en la eficiencia de las microempresas en Aguascalientes

Reyes Hernández Díaz*
César Arturo Puerta Jiménez**
Gerardo Armando Mejía Bernal***

Introducción

En la actualidad, en muchos países, incluido México, las micro, pequeñas y medianas empresas (MPYMES) representan más de 90% de las empresas: tienen hasta diez empleados y generan más de la mitad de los empleos que ofrece la actividad económica empresarial (Castillo y Feria, 2020).

* Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Industrial. Teléfono: 44 99 10 50 02, ext. 102, reyes.hd@aguascalientes.tecnm.mx.

** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Industrial. Teléfono: 44 99 10 50 02, ext. 102, cesar_arturo.pj@aguascalientes.tecnm.mx.

*** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Departamento de Ingeniería Industrial. Teléfono: 44 99 10 50 02, ext. 102, gerardo_armando@aguascalientes.tecnm.mx.

Castillo y Feria (2020) mencionan:

[...] las MPYMES, en el estado de Aguascalientes, al igual que en el resto del país y en muchos países del mundo, son empresas que se caracterizan principalmente porque son negocios en los cuales el gerente es el mismo propietario, no tienen bien definidas sus estrategias empresariales, son relativamente jóvenes (menores a dos años), tienen un mercado relativamente reducido (local, regional o nacional, pocas con mercado internacional), son de tipo familiar y la mayoría de los puestos directivos son ocupados por los mismos familiares del gerente o propietario, lo cual conlleva a que las decisiones a nivel gerencial sean realizadas casi con exclusividad por el gerente o propietario (o propietaria) de la empresa de manera personal o por personas relacionadas familiarmente con el propietario (o propietaria) o gerente (p. 42).

Por su parte, Arizaleta y Zhu (2018, p. 2) afirman que “las micro y pequeñas empresas en Latinoamérica representan un alto porcentaje, contribuyen a una alta empleabilidad y a un alto potencial de impacto del producto interno bruto (PIB) en la región”. Además, mencionan –en un caso de estudio realizado en Aguascalientes, México, para determinar los factores de supervivencia de pequeñas empresas en Latinoamérica– que las prácticas críticas de planeación financiera y de administración de operaciones son las más relevantes para lograr ser empresas exitosas. En esta investigación nos encaminamos a las prácticas de la administración de operaciones consideradas dentro de las estrategias operacionales.

En países como México, se debe utilizar la administración de operaciones para el desarrollo de estrategias globales empresariales, a fin de mejorar su desempeño y eficiencia continuamente (Montejano *et al.*, 2021).

La administración de operaciones se enfoca en el desarrollo y aplicación de estrategias operacionales para el mejor desempeño y utilización de los recursos de producción de las empresas.

Dentro de esas estrategias operacionales se tienen las que se toman en la administración de operaciones de las empresas. Ésta establece decisiones estratégicas (largo plazo), tácticas (mediano plazo) y de control y planeación operacional (corto plazo).

En las decisiones estratégicas se definen el producto a fabricar, la ubicación de las instalaciones, la capacidad necesaria, la flexibilidad, la calidad, la

eficiencia de la empresa, la distribución de instalaciones, entre otros (Chase *et al.*, 2005).

Los constructos considerados de mayor importancia y de interés de análisis para las microempresas del estado de Aguascalientes son la capacidad, la calidad en productos y en procesos, la distribución de las instalaciones o *layout* y la flexibilidad, relacionadas con la eficiencia.

El objetivo de esta investigación consiste en medir el impacto que pueda tener la capacidad, la calidad en productos y procesos, la distribución de instalaciones o *layout* y la flexibilidad en la eficiencia de las microempresas de Aguascalientes.

Fundamentación teórica

Capacidad

Entendiéndose por *capacidad*, la cantidad de producción que un sistema puede producir durante un periodo específico (Chase *et al.*, 2005).

Chase *et al.* (2005) mencionan que la capacidad se puede dividir en capacidad de diseño, capacidad efectiva y capacidad real, las cuales se definen a continuación.

La *capacidad de diseño* es la cantidad máxima de productos (cantidad ideal) que una empresa puede ofrecer por unidad de tiempo, tomando en cuenta lo que se puede producir sin ninguna dificultad o restricción por parte de las máquinas, el recurso humano y todos los elementos que se involucran en la producción.

La *capacidad efectiva* involucra restricciones de mantenimiento, restricciones de máquinas (arranque, enfriamiento, entre otras), horas dedicadas a producción y cualquier limitante en el recibo de materiales, por lo que se puede definir como la cantidad de productos posible que una empresa puede ofrecer por unidad de tiempo.

La *capacidad real* se contabiliza al finalizar una jornada y es lo que en realidad se produjo en la empresa por unidad de tiempo, considerando el paro de máquinas, errores de producción, defectos en los productos, la falta de personal, el paro de máquinas no previsto, el tiempo dedicado al conteo de artículos,

entre otras. Es lo que en realidad se fabricó en un día, semana o mes, dependiendo del momento en que la empresa contabilice la producción.

La capacidad se puede relacionar con la eficiencia de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Capacidad efectiva}}$$

Se puede expresar como porcentaje y expresa qué tan bien se están utilizando los recursos operacionales.

La capacidad puede ampliarse o reducirse en función de la demanda que tengan los productos de la empresa en un horizonte de planeación determinado. La ampliación de la capacidad puede ocurrir con la compra de maquinaria y equipo en función de los requerimientos para cumplir con una demanda determinada, mientras que la reducción de la capacidad se realiza normalmente, dejando de utilizar recursos operacionales para no fabricar de más y ocasionar la saturación de almacenes. A esta situación se le conoce como flexibilidad, en este caso, de la capacidad.

Al igual que en las grandes empresas, en las microempresas se debe atender la demanda de manera adecuada y, en muchos de los casos, sin necesidad de adquirir maquinaria y equipo que ocasionarían un incremento significativo de costos que, muchas de las veces, no se está en posibilidad de cubrir.

Así, se buscaría analizar si las microempresas cuentan con la capacidad suficiente para no tener diferencias entre la producción máxima y la real, si no se tienen problemas de cumplimiento por causa de la capacidad, si se tienen programas tendentes a incrementar la capacidad (en caso necesario) sin invertir en maquinaria y equipo y si se tienen planes a corto plazo (menos de un año) para incrementar dicha capacidad.

Calidad en productos y procesos

La *calidad* se puede definir como la satisfacción del cliente interno y externo, tanto de productos como de procesos.

En todas las empresas, independientemente del tamaño, es de suma importancia identificar los defectos que se pueden presentar en la producción de artículos. Un defecto puede ser una no conformidad o el incumplimiento de alguna característica del producto a ofrecer. Los defectos son de alguna manera más o menos “normales” en un número reducido de productos, lo importante es detectarlos y a través de un sistema de calidad (si se cuenta o no con uno), considerarlos para atender un reclamo de cliente, para desarrollar planes de reducción de los mismos a través de procesos de mejora continua. A veces se analizan tendencias en el comportamiento de los defectos y se establecen planes para reducirlos en el menor tiempo posible.

En las microempresas es muy común seleccionar a la empresa en la cual se adquirirán productos, en función de su nivel de calidad. Ese mismo nivel de calidad es utilizado por los competidores para cambiar sus prácticas o para generar un desprestigio con los clientes.

Otro aspecto importante es si se tienen identificados los costos de calidad, con la intención de tomar decisiones, si se tiene conocimiento de normas y si se aplican en la empresa. Dentro de esas normas se contemplan las ISO, sanitarias, de transporte, de uso de contenedores, de manejo de residuos, entre muchas otras.

Distribución de instalaciones o *layout*

La *distribución de instalaciones* o *layout* se puede entender como el acomodo de todos los activos (maquinaria, equipo, mobiliario, entre otros) dentro de las instalaciones físicas de la empresa.

La planeación de la distribución de instalaciones, o *layout*, es una de las herramientas que mejoran los procesos, los tiempos de producción, la productividad, la seguridad de los trabajadores y la eficiencia en las empresas (Pantoja *et al.*, 2017).

Cuando la distribución de instalaciones, o *layout*, es adecuada, se aumenta la eficiencia de la empresa y se reducen costos, se favorece la comunicación y la seguridad de los trabajadores con lo que se alcanza un mejor desempeño (Aranda *et al.*, 2018).

Entre los aspectos importantes a analizar dentro de este apartado están el acomodo de maquinaria y equipo, el movimiento de materiales y los tiempos

requeridos para ello y si existe la documentación utilizando planos de dicha distribución.

Flexibilidad

La *flexibilidad* se puede definir como la posibilidad que tiene la empresa de adaptarse a los cambios en el mercado. Chase *et al.* (2005) mencionan que dicha flexibilidad se puede conseguir por medio de plantas flexibles, procesos y trabajadores flexibles. Las cuales se definen a continuación por los mismos autores.

Las *plantas flexibles* son aquellas que se pueden adaptar rápidamente a los cambios utilizando “equipo móvil, paredes desmontables e instalaciones de fácil acceso y redirigibles” (p. 436).

Los *procesos flexibles* son sistemas adaptables de manufactura, equipos sencillos y fáciles de instalar, los cuales “permiten cambiar rápidamente y a bajo costo de una línea de productos a otra” (p. 436).

Los *trabajadores flexibles* son aquellos que “cuentan con múltiples habilidades y con la capacidad para cambiar con facilidad de una a otra tarea. Estos empleados requieren de una capacitación más amplia que los trabajadores especializados y necesitan administradores y personal de apoyo para facilitar los cambios rápidos en sus asignaciones de trabajo” (p. 436).

Entre los aspectos importantes a analizar dentro de este apartado están los cambios de modelo rápidos, el uso de la misma maquinaria para diferentes operaciones, el desarrollo de partes comunes a diferentes productos, las habilidades de los trabajadores, la adaptación de la empresa a nuevas formas de trabajo, a nuevas tecnologías y a la adquisición planeada de éstas. Estos aspectos contribuyen a que la empresa sea más eficiente lo que se traduce en mayores ganancias y costos bajos.

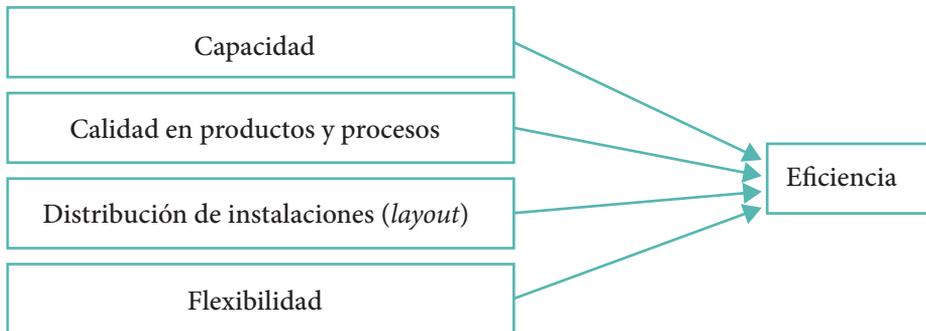
Eficiencia

De acuerdo con Chase *et al.* (2005), la eficiencia se refiere a hacer algo con el menos costo posible.

En el ámbito empresarial, la eficiencia tiene relación con el uso racional de recursos; lo anterior se mide a través del cumplimiento de los planes de producción, el uso adecuado del tiempo de producción, evitando en lo posible el uso de horas extra, el análisis del proceso para detectar y disminuir los tiempos de ocio, la planeación de las operaciones día a día, el involucramiento de todos los actores importantes en la planeación de la producción, la estandarización de tareas para que todo mundo realice su actividad de la misma manera y se puedan detectar áreas de oportunidad, la capacitación del personal, la realización de paros programados por acciones de mantenimiento preventivo, la disminución de defectos y retrabajos como consecuencia de ellos, entre otros.

La Figura 1 muestra el modelo conceptual de esta investigación, relacionando el posible impacto de la capacidad, de la calidad en productos y procesos, de la distribución de instalaciones (*layout*) y de la flexibilidad en la empresa sobre la eficiencia de la misma.

Figura 1. Modelo conceptual de investigación



Fuente: elaboración propia.

Además, permite establecer la siguiente hipótesis:

Ho: La capacidad, la calidad en productos y procesos, la distribución de instalaciones (*layout*) y la flexibilidad en la empresa tienen un impacto significativo en la eficiencia de la misma.

Metodología

La metodología que se aplicó fue cuantitativa, transversal y no experimental. Para realizar esta investigación se conformó una encuesta basando en el instrumento de recolección de datos de Montejano y López (2013) y de Arizaleta y Zhu (2018) con sus respectivas adecuaciones y modificaciones para ser aplicada al sector de las microempresas; en estas se estableció una cierta cantidad de preguntas para cada constructo relacionado con el problema. Para el constructo de *capacidad* se definieron cuatro preguntas; para *calidad en productos y procesos*, nueve; para la *distribución de instalaciones*, seis; para la *flexibilidad*, ocho, y para la *eficiencia*, siete.

Cada pregunta se contestó con una escala Likert natural (de 1 a 5) y fue aplicada a 90 microempresas de diferentes giros en el estado de Aguascalientes, ubicados en diferentes municipios y fraccionamientos a lo largo de cada municipio.

Se realizó un análisis estadístico exhaustivo de los resultados de la aplicación de las encuestas y se planteó un modelo que permitió relacionar los diferentes elementos mencionados antes. Se llegó a un modelo de regresión, que permitió establecer el impacto de cada constructo con respecto a la eficiencia de las microempresas. Los datos fueron analizados mediante el programa de Minitab en su versión 19.

Resultados y discusión

Para analizar los datos, en primer lugar se realizó un análisis de elementos o de consistencia interna para cada uno de los constructos que conformó la encuesta. Para ello, se utilizó el alfa de Cronbach. Esto se realizó para asegurarse de que los elementos que se diseñaron para medir cada constructo realmente lo hagan. Los resultados se muestran en la Tabla 1. Se observa que el valor de alfa de Cronbach para cada uno de los constructos presenta un valor superior al valor de referencia comúnmente utilizado de 0.7, según lo recomendado por Nunnally y Bernstein (1995).

Esto implica que se tiene evidencia de que los elementos utilizados para medir cada constructo realmente lo miden. Y que dichos elementos necesarios para considerar la viabilidad del modelo son adecuados.

Tabla 1. Análisis de la consistencia interna de los constructos

<i>Factor de análisis</i>	<i>Alfa de Cronbach</i>
Calidad en productos y procesos	0.8241
Flexibilidad	0.8331
Capacidad	0.8328
Distribución de instalaciones	0.8638
Eficiencia	0.9100

Fuente: elaboración propia.

Luego se realizó un estudio descriptivo de cada una de las variables involucradas en el estudio. Para ello se utilizó la media y la desviación estándar. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

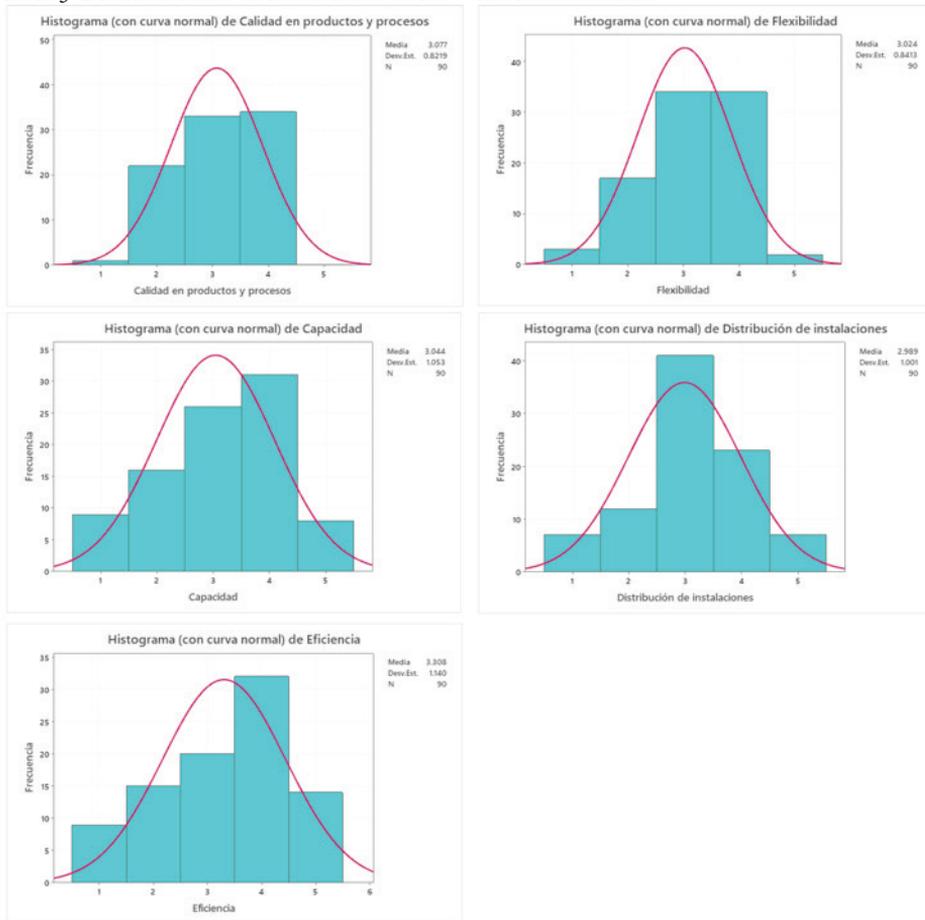
Para complementar el estudio descriptivo de las variables, se realizaron histogramas de frecuencias con curvas de ajuste normal para describir la distribución de frecuencias, en escala de 1 a 5, de las evaluaciones realizadas por cada una de las microempresas para cada una de las variables de estudio. Las distribuciones se muestran en la Tabla 3. Esta información descriptiva permite identificar el tamaño de la muestra, el centro de los datos, la dispersión de los datos y la forma y dispersión de la distribución de los datos recabados para cada uno de los constructos estudiados. Las distribuciones mostradas no muestran datos atípicos y se observan razonablemente simétricas.

Tabla 2. Estudio descriptivo de las variables de estudio

<i>Factor de análisis</i>	<i>Media</i>	<i>Desviación estándar</i>
Calidad en productos y procesos	3.0765	0.8219
Flexibilidad	3.0236	0.8413
Capacidad	3.044	1.053
Distribución de instalaciones	2.989	1.001
Eficiencia	3.308	1.140

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Distribuciones de frecuencias de las variables de estudio



Fuente: elaboración propia.

Posteriormente se realizó un estudio correlacional para medir la fuerza y la asociación entre pares de variables. Se utilizó la correlación del momento del producto de Pearson, la cual mide la relación lineal entre dos variables continuas. Las gráficas de dispersión con los respectivos valores del coeficiente de correlación de Pearson y valor-p se muestran en la Tabla 4.

Se observa que las cuatro relaciones son correspondencias lineales positivas moderadas. El coeficiente de correlación más alto se encuentra entre la

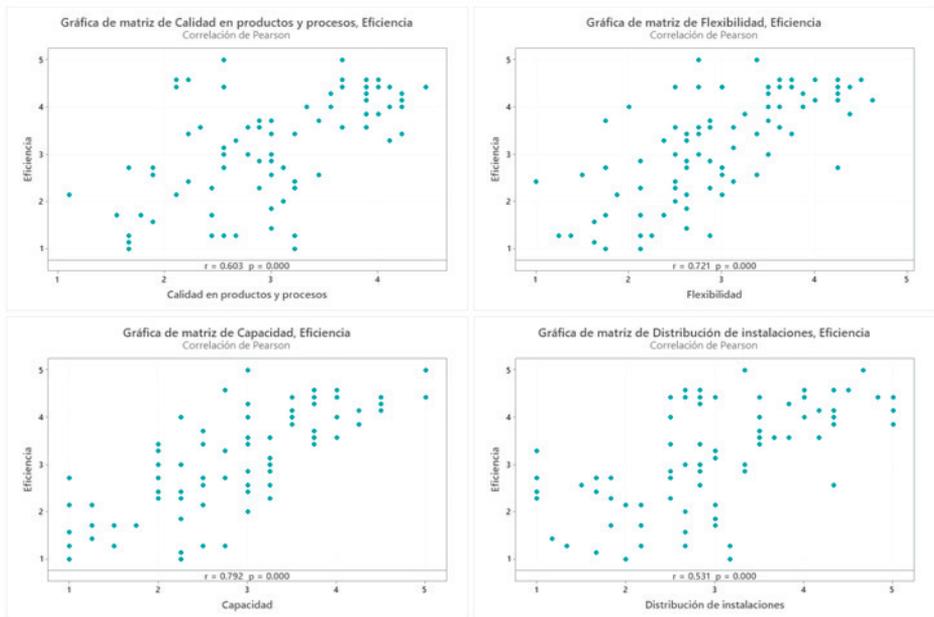
eficiencia y la *capacidad*, con un valor de 0.792, el cual representa una relación positiva moderada entre las variables.

A medida que la *capacidad* aumenta, la *eficiencia* también lo hace. También se observa otro coeficiente de correlación alto entre la *eficiencia* y la *flexibilidad*, con un valor de 0.721, la cual también nos indica una relación positiva moderada.

Dados los valores *p* para cada una de las pruebas estadísticas de correlación, se puede concluir que el coeficiente de correlación de Pearson es estadísticamente diferente de cero para cada par de variables estudiadas.

Finalmente, se realizó un análisis de regresión para describir la relación entre la *calidad en productos y procesos*, *flexibilidad*, *capacidad* y *distribución de instalaciones* sobre la *eficiencia* utilizando el método de mínimos cuadrados. Los resultados del modelo se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4. Análisis de correlación de las variables de estudio con la eficiencia



Fuente: elaboración propia.

Con base en el análisis de varianza mostrado, se puede visualizar que la *flexibilidad* y la *capacidad* son los términos que más influyen sobre la *eficiencia*, dados sus valores *p* más pequeños e inferiores a 0.05. Esto significa que la asociación entre la *eficiencia* y la *flexibilidad* es estadísticamente significativa.

De igual manera, la asociación entre la *eficiencia* y la *capacidad* es estadísticamente significativa.

Tabla 5. Análisis de regresión del modelo estadístico

Modelo de regresión					<i>R</i> ² ajustada
Eficiencia = -0.334 + 0.135 Calidad en productos y procesos + 0.451 Flexibilidad + 0.5475 Capacidad + 0.0657 Distribución de instalaciones					72%
Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
Regresión	4	84.379	21.0948	57.45	0.000
Calidad en productos y procesos	1	0.558	0.5585	1.52	0.221
Flexibilidad	1	5.919	5.9194	16.12	0.000
Capacidad	1	12.521	12.5215	34.10	0.000
Distribución de instalaciones	1	0.225	0.2253	0.61	0.436
Error	85	31.209	0.3672		
Falta de ajuste	79	31.180	0.3947	81.91	0.000
Error puro	6	0.029	0.0048		
Total	89	115.588			

Fuente: elaboración propia.

Dado el valor de *R*² ajustado de 72%, el modelo explica aproximadamente 72% de la variación de la *eficiencia*. Para estos datos, el valor del coeficiente de determinación ajustado indica que el modelo proporciona un ajuste adecuado a los datos.

Se sugiere ajustar otros modelos con diferentes constructos (predictores) para identificar si existe un mejor ajuste.

Conclusiones

Se puede decir que, efectivamente, la capacidad, la calidad en productos y procesos, la distribución de instalaciones (*layout*) y la flexibilidad en la empresa tienen un impacto significativo en la eficiencia de la empresa.

Lo anterior quiere decir que al mejorar la capacidad se mejora la eficiencia; y al mejorar la calidad en productos y procesos también. Asimismo, al mejorar la distribución de instalaciones (*layout*) mejora la eficiencia y, de igual manera, al mejorar la flexibilidad, mejora la eficiencia.

De manera particular, la capacidad y la flexibilidad mejoran, en gran medida, la eficiencia; en menor medida mejora al beneficiarse la calidad en productos y procesos y, en mucho menor dimensión, la distribución de instalaciones mejora la eficiencia.

Las microempresas encuestadas regularmente cuentan con la capacidad para no tener diferencias entre la producción máxima y la real; casi siempre no tienen problemas de cumplimiento por causa de la capacidad, así como tienen programas tendentes a incrementar la capacidad (en caso necesario) sin invertir en maquinaria y equipo y se tienen planes a corto plazo (menos de un año) para incrementar dicha capacidad.

En cuanto a calidad en productos y procesos, casi siempre se identifican los defectos que se pueden presentar en la producción de artículos. Regularmente se analizan tendencias en el comportamiento de los defectos y se establecen planes para reducirlos en el menor tiempo posible. Regularmente, los productos se adquieren en función de su nivel de calidad y de igual manera ese nivel de calidad es utilizado por los competidores para cambiar sus prácticas o para generar un desprestigio con los clientes. De manera regular se tienen identificados los costos de calidad y se toman decisiones a partir de ellos. Mencionan que, aunque desconocen todas las normas aplicables a su empresa, las que conocen siempre se aplican en la empresa.

Respecto a la distribución de instalaciones, no existe un mapeo que permita identificar con facilidad el proceso, la disposición de maquinaria y el equipo; esta disposición apoya la seguridad en la planta de manera regular. También se identificó que se tienen los planos necesarios para tomar decisiones, y los tiempos de traslado de material son cortos. Casi siempre se pueden identificar las instalaciones de servicios por todos los integrantes de la empresa.

En el rubro de flexibilidad, regularmente el cambio de modelo se realiza en corto tiempo; se desarrollan partes comunes a diferentes productos, y los trabajadores cuentan con múltiples habilidades, lo que facilita los cambios en el proceso. La implementación de nuevas formas de trabajo no ocasiona ningún conflicto y se adaptan a nuevas tecnologías y formas de trabajo. Casi siempre la empresa puede hacer frente a las necesidades de los clientes en cuanto a cantidad y entregas, ya que se realizan diferentes operaciones con las mismas máquinas y se adquiere maquinaria y equipo de acuerdo con los sistemas de trabajo.

En cuanto a eficiencia, casi siempre se cumple con los planes de producción, existe muy poco personal ocioso, pero están identificadas las causas. La planeación del trabajo se realiza por todos los actores importantes en la empresa y los retrabajos se realizan en pocas ocasiones. Siempre se tiene un uso adecuado del tiempo de producción, evitando el uso de horas extras; también se conocen plenamente todas las actividades que conforman los procesos y los paros de producción se realizan de manera planeada para actividades de mantenimiento preventivo, conteo de la producción, entre otras.

Lista de referencias

- Aranda Ontiveros, J. J., Baas-Vázquez, A. A., García Gutiérrez, C. R. y Morales González, M. A. (2018, diciembre). Propuesta de distribución de planta de flujo flexible para una microempresa de fabricación de muebles en Yucatán. *Revista del Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Mérida*, 33(75), 34-40.
- Arizaleta Valera, M. J. y Zhu, X. (2018). *Improving the Survival Rate of Small Firms in Latin America: A case study in Aguascalientes* (Master tesis). MIT Supply Chain Management program. MIT Center for Transportation and Logistics. Repositorio Institucional del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Recuperado de <https://ctl.mit.edu/pub/thesis/improving-survival-rate-small-firms-latin-america-case-study-aguascalientes-mexico>
- Castillo Luévano, C. y Feria Cruz, M. (2020, diciembre). Innovación y competitividad. Un estudio relacional de las MPYMES del sector metalmecánico en el estado de Aguascalientes. *Conciencia Tecnológica*, 60, 39-48.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R. y Aquilano, N. J. (2005). *Administración de la producción y operaciones para una ventaja competitiva* (10a. ed.). McGraw Hill.

- Montejano García, S. y López Torres, G. C. (2013, diciembre). Impacto del capital intelectual en la innovación en empresas: una perspectiva de México. *Revista Científica “Teorías, Enfoques y Aplicaciones en las Ciencias Sociales” (Ve)*, 13, 25-38. Recuperado de <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-cientifica-teorias-enfoques-y-aplicaciones-en-las-ciencias-sociales/articulo/impacto-del-capital-intelectual-en-la-innovacion-en-em-presas-una-perspectiva-de-mexico>
- Montejano García, S., López Torres, G. C., Pérez Ramos, M. J. y Campos García, R. M. (2021, diciembre). Administración de operaciones y su impacto en el desempeño de las empresas. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, xxvii(1). Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28065533010>
- Nunnally, J. C. y Bernstein, I. H. (1995). *Psychometric Theory*. McGraw Hill.
- Pantoja, C., Orejuela, J. P., Bravo, J. J. (2017, marzo). Metodología de distribución de plantas en ambientes de agrupación celular. *Estudios Gerenciales*, 33, 132-140.



Capítulo 2. Influencia de la administración de materiales sobre el control de la producción

Salomón Montejano García*
Gabriela Citlalli López Torres**
Ma. Mónica Gloria Clara Castillo Esparza***

Introducción

A partir de los años sesenta, cuando dio inicio el desarrollo de la administración de operaciones (AM) y derivado de las necesidades de planeación y control surgidas por efecto de la globalización (Arrieta, 2001), se hace necesario que funciones como la AM, que tradicionalmente dependía del área de producción, se independizara, aunque se continúa con el apoyo directo y constante al área de producción; es entonces cuando la logística

* Universidad Autónoma de Aguascalientes. Departamento de Recursos Humanos, salomon.montejano@edu.uaa.mx.

** Universidad Autónoma de Aguascalientes. Departamento de Recursos Humanos, Gabriela.lopez@edu.uaa.mx.

*** Universidad Autónoma de Aguascalientes. Departamento de Recursos Humanos, al266361@edu.uaa.mx.

se responsabiliza por administrar la cadena de suministro y, por otro lado, producción por todo lo relevante a administrar el proceso productivo; sin embargo, cabe puntualizar que aún continúan existiendo tareas que son inherentes a las dos grandes áreas expresadas con anterioridad, sin importar si se trata de bienes o servicios (Russell y Taylor, 2000).

El control de la producción (CP) se complicó cuando, por necesidades del mercado, se presenta la necesidad de producir lotes pequeños de producción originados por la creciente gama de productos que se tiene que producir en la misma línea de producción, debido a las exigencias de los clientes, los cuales no compraban lo que se ofrecía, sino que exponían lo que quería comprar (Anuar y Nagi, 1997), y no los grandes lotes de producción como se hacía con anterioridad. Lo anterior trajo como resultado que la planeación y la programación se hicieran muy complejas, llegándose a complicar la AM así como el control de los costos (Zahorik *et al.*, 1984). Al incorporarse a estos requerimientos para producir, se complicó principalmente el libre flujo de materiales y subensambles, debiendo introducir a la línea una serie de materiales y componentes mucho mayor debido a la variedad de productos que se fabricaban al mismo tiempo. De esta manera se generaron bastantes cuellos de botella, así como el incremento del inventario en tránsito durante el proceso, ya que la distribución de estos se tenía que agilizar, así como la disponibilidad de inventarios para cubrir cualquier programa de producción (Anagnostakis *et al.*, 2001).

Entonces, para corregir esto, se pensó en dos posibles estrategias; la primera, contar con áreas de almacén muy grandes y con capacidad para mantener, en inventario, cantidades muy grandes de partes y materiales para cubrir cualquier cantidad de insumos requeridos para la producción de diferentes gamas de producto; la segunda, pequeñas áreas de almacenamiento a través de las líneas de producción y al lado de las estaciones de trabajo para poder mantener el flujo de producción constante y necesario para cumplir con el cliente (Alizon *et al.*, 2009).

Sin embargo, aunque el problema disminuyó, no se corrigió; de esta manera aparecieron técnicas como el justo a tiempo, flexibilidad, balanceo de líneas, Kanban, entre otras, con el propósito de producir lo que se requería en el momento en que se necesitaba, coordinando los requerimientos de materiales asignados por el control de producción (CP) para la realización de cualquier lote de producción de cualquier modelo solicitado por los clientes,

al tiempo que se mantenían bajos niveles de inventario y eliminación de obsoletos. Por otro lado, las actividades generadas por estas técnicas se asignaron a la administración de materiales, para servicio del control de producción.

Fundamentación teórica

Administración de materiales

A causa de la propia evolución de las formas de producir, se hace ver que la manera de administrar los inventarios debe adecuarse a las nuevas situaciones generadas por la manera actual de producir (Louly y Dolgui, 2013). Puesto que ahora se requiere integrar la información generada con base en la planeación de producción, para que sea clara y esté disponible para todos los involucrados en el proceso que sigue, la obtención y cuidado de materiales y componentes, la disposición de los mismos a producción y el cuidado y control del producto terminado (Navon y Berkovich, 2006) para apoyar en el mejoramiento de la AM, se asimila durante la operación la idea de utilizar las tecnologías de información durante este proceso (Irizarry *et al.*, 2013), para agilizar y asegurar la información confiable y expedita requerida.

El manejo de materiales inicia en el momento en que se determina la demanda y se tiene esto como base para establecer la forma en que los insumos serán adquiridos, cuidados y enviados hasta el cliente; el problema estriba en que tradicionalmente estas acciones se realizaban de manera independiente, de tal manera que la forma de prever cualquier problema era asegurando la existencia de inventario de partes, materiales y producto terminado para cubrir cualquier eventualidad, incurriendo en costos por almacenamiento, pérdidas, y gran cantidad de obsoletos (Ala-Risku y Karkainen, 2006).

Para su estudio, la AM se ha organizado en varias etapas, como son la determinación de materiales, compra, almacenamiento, utilización de materiales en producción (Navon y Berkovich, 2006), pero no como actividades independientes, sino como lo que se llama cadena de suministro (Irizarry *et al.*, 2013).

La AM se convierte en el conjunto de técnicas aplicadas en forma ordenada por las áreas funcionales de la empresa, a fin de lograr que los materiales y componentes se encuentren en calidad, tiempo y cantidad, para su

integración a la cadena de valor, pero sin incurrir en el exceso de recursos para lograr este objetivo. Es necesario incluir técnicas, como pronósticos de demanda, para determinar la necesidad de recursos y la manera de operar (Zulkepli *et al.*, 2015), de igual manera establecer cómo llevar el control de inventarios (Ha, 1997; y Claudio y Krishnamurthy, 2009). Estas condiciones obligan, además de establecer el uso de técnicas en cuanto a lo que se refiere a la selección y evaluación de proveedores, así como los sistemas de calidad para la recepción de materiales.

Control de la producción

La evolución en los sistemas productivos causa, a su vez, cambios en las expectativas del control de producción; el cambio del proceso de lotes grandes de producción de un solo producto a la producción de lotes pequeños, aunque de varios productos, ha hecho complejo el CP, debido a las exigencias propias del mercado, por lo que se hace necesaria la integración de principios generados por administración de operaciones, como flexibilidad, adaptabilidad y rapidez (Arauzo *et al.*, 2004). Estas condiciones no se pueden desarrollar por sí solas y en ellas el manejo de materiales se hace indispensable. Por lo tanto, la tendencia de los sistemas que conforman las organizaciones se direcciona hacia la autoorganización.

Control de producción se conceptualiza como el conjunto de técnicas que se aplican para mantener el flujo de producción dentro de parámetros de calidad, cantidad, tiempo de entrega, y costo. Para cumplir con los requerimientos del tiempo, cubriendo con sus expectativas (Noori y Radford, 1997), se le asignan las siguientes responsabilidades: programación de la planta, disponibilidad de herramientas, material y personal, informes de retroalimentación, cumplimiento del programa, informes de estado, control de pedidos, localización de pedidos y seguimiento, cambio a las órdenes, división de lotes, cambios de ruta, cambios de tiempo, reproceso, cambios de ingeniería, expedición de pedidos, selección de pedidos, asignación de pedidos, control de prioridades, entre otros. Sin embargo, paradójicamente, entre menor es la frecuencia en la corrección en este sentido, refleja mayor control del proceso productivo.

Por lo anterior, para evitar equivocaciones y correcciones en las responsabilidades del CP, interviene el análisis de la demanda, tanto real como

pronosticada, y mediante la información generada se determina la forma de trabajar de la empresa, que a su vez se utiliza también en la determinación de planeación maestra, la determinación y utilización de la capacidad, la descripción de la necesidad de recursos, la planeación en el requerimiento de los materiales, el balanceo de las líneas de producción, determinación del tamaño de los lotes y la secuencia de operaciones (Chávez *et al.*, 2020). Es durante esta relación que la AM juega a su vez un importante rol dentro de este proceso, puesto que la producción se debe realizar para llegar al cliente en cuanto se realiza, minimizando en lo posible el almacenaje de producto terminado.

Relación de la administración de materiales y control de la producción

Actualmente, un factor muy importante en la producción de bienes y servicios es precisamente la forma en que fluye la demanda a través de la cadena de valor, por lo que el intervalo entre la generación de las ordenes de producción y la entrega de los productos se debe cumplir para la satisfacción del cliente (Hariharan y Zipkin, 1995). Para ello se requiere poner en práctica las técnicas de administración de operaciones que acerquen al área de operación con el área de AM, para lograr que la información fluya de manera clara y expedita entre estas áreas, para que los materiales y componentes se encuentren a tiempo en las líneas de producción y sean procesadas de tal manera que se logre dar cumplimiento a la demanda de los clientes en tiempo y forma, y evitar los retrasos por falta de cualquier tipo de insumo (Sarkar y Shewchuk, 2013).

En la cadena de valor, en tiempos pasados, se manejaban todas las actividades concernientes a la producción de bienes y servicios; a partir de finales del siglo xx, con el propósito lograr mayor control y optimización en los resultados de las operaciones, se separaron las actividades correspondientes a lo que se denomina cadena de valor en dos grandes áreas: por un lado, la cadena de suministro; por otro, lo que concierne al proceso de producción, ambos con sus funciones perfectamente establecidas.

Las actividades de estas áreas deben estar perfectamente sincronizadas desde la generación de la información hasta ejecución de las actividades de valor agregado. La información fluye de manera vertical de área a área y la producción en sentido horizontal, desde el suministro de los insumos, pasando

por la transformación, hasta la disponibilidad del producto final, listo para su distribución. Si por alguna causa en la generación e interpretación de información se cometen errores, éstos causan retrasos en la realización de los productos (Chatfiel *et al.*, 2013).

Derivado del análisis anterior, se genera el modelo de investigación mostrado en la Figura 1, que sirve de base para realizar el análisis de las respuestas obtenidas de los empresarios en Aguascalientes, México, durante el presente estudio. En este se expresa el impacto que tiene la AM sobre el CP durante el desarrollo del proceso productivo.

Figura 1. Modelo de investigación que relaciona la administración de materiales con el control de producción



Fuente: elaboración propia con base en la naturaleza de la investigación.

De este modelo se genera la siguiente hipótesis:

H_0 = La administración de materiales impacta significativamente sobre el control de la producción en empresas de Aguascalientes, México.

Metodología

Esta investigación se realizó con el propósito de conocer el nivel que se tiene en la administración de materiales (AM), así como del control de la producción, y, de igual manera, determinar el impacto de la AM sobre el CP en las empresas de Aguascalientes. La investigación es transversal, cuantitativa, no experimental.

Tabla 1. Operacionalización de variables

<i>Constructo</i>	<i>Calificación de las variables</i>
Administración de materiales.	1= No se cuenta con sistemas de administración de materiales. 2= Son empleados y controlados empíricamente, algunos sistemas.
Abastecimiento. Materiales a producción.	3= Los sistemas de administración de materiales son básicos y de uso general. 4= La mayoría de los sistemas de administración de materiales son actualizados. 5= Se aplican todos los sistemas de administración de materiales actuales.
Control de inventarios	
Control de producción	1= Problemas continuos de control de producción, se genera incumplimiento a clientes. 2= Frecuentemente se tiene problemas con el control de producción; los problemas de cumplimiento se solucionan con utilización descontrolada de recursos. 3= Esporádicamente se tienen problemas de control de producción; los problemas de cumplimiento se solucionan fácilmente. 4= Casi nunca existen problemas de control de producción; los problemas por cumplimiento son mínimos. 5= Nunca existen problemas de control de producción, siempre se cumple con los clientes.

Fuente: elaboración propia, con base en la naturaleza de la investigación.

Se diseñó una encuesta para analizar el constructo AM, mismo que se forma por tres dimensiones: la primera, que analiza es el abastecimiento de materiales, con cuatro preguntas; a continuación, materiales a producción con cinco preguntas y, por último, el control de los inventarios con cuatro preguntas; el control de producción quedó con tres preguntas. Para calificar las respuestas se le utilizó a escala Likert de cinco puntos, cuyo significado se describe en la Tabla 1.

La encuesta se aplicó a 317 empresarios en Aguascalientes, con lo que finalmente se concluyó que estos están de acuerdo en que la administración de materiales (AM), impacta positiva y significativamente sobre el control de la producción (CP), por lo que al contar con la utilización de técnicas de AM, se verá beneficiado el resultado en el CP. Por otro lado, se concluyó que de la AM, en este momento, se tiene mayor dominio en el control de inventarios que

sobre las otras dos dimensiones, a pesar de lo cual aún existen áreas de oportunidad en los sistemas de control, puesto que carecen de rigidez en algunos casos, por lo que controlan de manera práctica y con base en la experiencia de los directores o dueños de empresa.

Con el propósito de confirmar la congruencia en las respuestas, se llevó a cabo un análisis de fiabilidad por medio del Alpha de Cronbach; los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2, en la cual se puede ver que todos los índices resultantes de la prueba realizada cuentan con un valor que superan o están muy cercanos al 0.7; este valor es el mínimo recomendado por Nunnally y Bernstein (1994). Por lo tanto, se concluye que la pertinencia necesaria para considerar la congruencia de las respuestas de la encuesta.

Tabla 2. Valores del Alpha de Cronbach y media de respuesta para los constructos analizados y sus dimensiones

<i>Constructo o dimensión analizados</i>	<i>Alpha de Cronbach</i>	<i>Media de respuesta</i>
<i>Administración de materiales</i>	0.941	3.581
Abastecimiento	0.909	3.498
Materiales a producción	0.840	3.579
Control de inventarios	0.870	3.667
<i>Control de producción</i>	0.866	3.474

Fuente: elaboración propia con base en la naturaleza de la investigación.

Finalmente, se concluyó que se tiene efecto significativo de la utilización de técnicas de AM, sobre el CP, siendo el abastecimiento de los materiales la dimensión de la AM que mayormente influye en este proceso.

Resultados y discusión

Una vez realizado el tratamiento de los datos obtenidos en la investigación, estos se registraron en la Tabla 3. En esta se puede ver que la AM registra un valor medio de 3.5814, con lo cual se indica que, para el empresario, sus organizaciones cuentan con sistemas actualizados y que se trabaja con la aplicación de estos en la planta. Posiblemente esto sea por la influencia de los sistemas de trabajo que

se tienen en las empresas de origen extranjero que se asientan en la región y solicitan que sus proveedores trabajen al mismo ritmo que éstas. Esta situación obliga a las organizaciones a cambiar sus esquemas de trabajo para conectarse a las cadenas de valor de sus clientes que, en muchas ocasiones, son las empresas extranjeras. Se observa que, en este sentido, el control de inventarios tiene un índice de 3.6672, lo cual nos muestra que el empresario en Aguascalientes le pone mucho mayor atención a esta dimensión que a las otras dos, aunque todas las dimensiones analizadas se encuentran en índices superiores a 3.4, considerada como zona de aplicación de la mayoría de los sistemas actualizados para la AM.

En este sentido, se puede asimismo observar que el CP tiene una media de respuesta de 3.4742, lo cual lo coloca en la base del pensamiento que expresa que por lo general casi nunca se tienen problemas por este concepto, situación que los coloca como proveedores confiables y atractivos para las empresas extranjeras.

Tabla 3. Valores de la respuesta media para los constructos analizados y sus dimensiones

<i>Constructo o dimensión analizados</i>	<i>Respuesta media</i>	<i>Interpretación</i>
Abastecimiento de materiales	3.4984	La mayoría de los sistemas de administración de materiales son actualizados.
Materiales a producción	3.5785	La mayoría de los sistemas de administración de materiales son actualizados.
Control de inventarios	3.6672	La mayoría de los sistemas de administración de materiales son actualizados.
<i>Administración de materiales</i>	3.5814	La mayoría de los sistemas de administración de materiales son actualizados.
<i>Control de producción</i>	3.4742	Casi nunca existen problemas de Control de producción, problemas por cumplimiento son mínimos.

Fuente: elaboración propia con base en el resultado del análisis de fiabilidad realizado.

Al realizar un análisis detallado de los resultados de la encuesta realizada, los cuales se describen en la Tabla 4, se puede observar que para la dimensión abastecimiento de materiales, 41% de los empresarios expresan que en sus empresas se cuenta con sistemas robustos, por lo que se tienen, a su vez, problemas de cumplimiento con clientes, derivado de la falta de control en el

área de producción. En tanto, 59% afirma que se aplica la mayoría de técnicas de abastecimiento de materiales, por lo que los problemas de cumplimiento son esporádicos y se resuelven con facilidad.

Tabla 4. Porcentajes de la frecuencia de respuesta para el modelo de investigación propuesto

Dimensiones para calificar los constructos Cadena de valor y competitividad	No se cuenta con sistemas de AM. Problemas continuos de CP, se genera incumplimiento a clientes.	Son empleados y controlados empíricamente, algunos sistemas de AM.	Frecuentemente se tiene problemas con el CP; los problemas de cumplimiento se solucionan con utilización descontrolada de recursos.	Los sistemas de AM son básicos y de uso general. Esporádicamente se tienen problemas de CP. Problemas de cumplimiento se solucionan fácilmente.	La mayoría de los sistemas de AM son actualizados. Casi nunca existen problemas de CP, problemas por cumplimiento son mínimos.	Se aplican todos los sistemas de AM actuales. Nunca existen problemas de CP, siempre se cumple con los clientes.
Abastecimiento de materiales	9.5	12.3	19.2	27.1	31.9	
Manejo de materiales	9.5	21.8	41.0	68.1	100	
Materiales a producción	5.7	10.1	24.9	39.1	20.2	
	5.7	15.8	40.7	79.8	100	
Control de inventarios	5.4	9.1	22.1	28.4	35.0	
	5.4	14.5	36.6	65.0	100	
Administración de materiales	3.8	12.0	23.3	33.5	27.4	
	3.8	15.8	39.1	72.6	100	
Control de producción	10.4	10.4	27.28	19.9	31.5	
	10.4	20.8	48.6	68.5	100	

Fuente: elaboración propia.

En lo concerniente a los materiales a producción, se observa que 40.7% menciona que se cuenta con la aplicación básica de técnicas en este sentido; de ahí que los problemas en producción generan el incumplimiento con el cliente y la existencia continua de problemas, aunque se cuenta con la capacidad para resolverlos fácilmente. En contraparte, 59.3% señala que se aplica la mayoría de las técnicas relacionadas a enviar a producción los materiales requeridos en tiempo y forma, a fin de evitar la existencia de problemas, por lo que generalmente se cumple a su vez con los clientes y los problemas existentes son mínimos y de fácil solución.

En cuanto a la dimensión control de inventarios, los resultados nos arrojan que 36.6% de los empresarios afirman que las técnicas que se utilizan concernientes a este rubro son básicas, inclusive con cierto sentido empírico, por lo que los problemas de cumplimiento con los clientes se presenta con cierta regularidad, pero que se solucionan con cierta facilidad. De manera contraria, 63.4% expresa que se utiliza la mayoría de técnicas relacionadas con el control de inventarios, por lo que los problemas que se presentan con los clientes son casi nulos y, en caso de existir, se solucionan muy fácilmente.

Los resultados expresados en la Tabla 4 manifiestan los valores de respuesta sencillos y acumulados para cada una de las respuestas. Aquí podemos observar que para el constructo AM nos muestra que 39.1% de los empresarios denota que se trabaja empíricamente en muchos casos, puesto que se cuenta únicamente con la utilización de algunas técnicas enfocadas a la AM, por lo que de manera frecuente se tienen problemas de cumplimiento aunque son, por lo regular, resueltos con cierta facilidad. Por el contrario, 60.9% revela que se utilizan la mayoría de técnicas para la AM, por lo que los problemas de cumplimiento son mínimos y, cuando existen, se resuelven con facilidad.

Por último, en cuanto al constructo control de producción, se tiene que 48.6% de los empresarios reconoce que se utilizan solamente algunas técnicas de CP, por lo que se tienen con cierta frecuencia problemas de cumplimiento, pero que se solucionan de manera sencilla; ocasionalmente se tienen problemas serios. De manera contraria, 51.4% declara que se trabaja con la mayoría de los sistemas de CP, por lo que se minimiza la existencia de problemas de cumplimiento; además, los problemas cuando se llegan a presentar se resuelven de manera rápida y sencilla.

A continuación, en la Tabla 5 se expresa el resultado de la correlación existente entre la AM y el CP. En ésta se puede ver que el valor es de 0.765, que para este tipo de análisis es muy alta, siendo esta positiva y significativa. Nos dice, además, que 76.5% de los datos se mueven en el mismo sentido de manera

ordenada, de igual manera el resultado en R2 tiene respectivamente un valor de 0.5852. Lo anterior nos confirma que en el 58.52% de los casos en que lo que ocurre es lo que corresponde al control de producción, se explica por lo que ocurre con la AM. Se complementa la información con la Gráfica 1, en la cual se puede observar que la correlación es positiva.

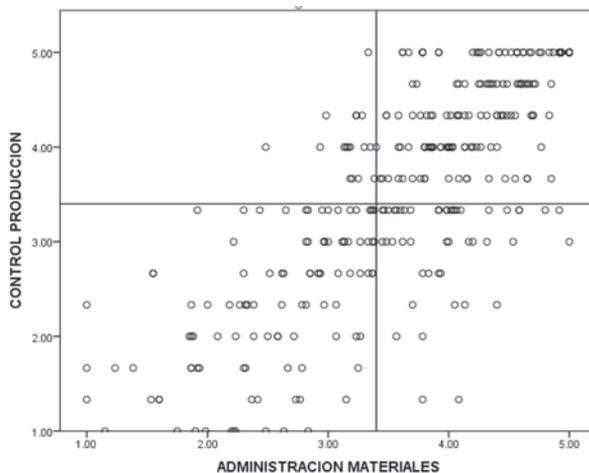
Al dividir esta gráfica en cuatro cuadrantes, nos dice, además, que 33.44% de los empresarios expresa que su AM es baja y que también es bajo el CP. Asimismo, refleja que 18.58% de los empresarios dice que, en sus respectivas empresas, aunque la AM es baja, sus resultados en el CP son altos. Por otro lado, 42.41% de estos hace mención a que cuando la AM es alta, el CP también es alto; podemos observar, por último, que 5.57% de los empresarios expresa que aunque la AM es baja, el CP es alto.

Tabla 5. Correlación del uso de técnicas de AM con el CP en empresas de Aguascalientes

Correlación de Pearson	.765
Sig. (bilateral)	.000

Fuente: elaboración propia con base en el resultado del análisis de correlación realizado.

Gráfica 1. Correlación entre la AO con el CP en empresas de Aguascalientes



Fuente: elaboración propia, con base en el resultado del análisis de correlación realizado.

Como complemento del análisis de la relación entre AM y CP, se realizó una regresión lineal en la que la variable independiente es la AM y la dependiente es el CP; el resultado de este estudio se expone en la Tabla 6. En esta se puede visualizar que la ecuación que explica esta relación es la siguiente.

Tabla 6. Resultado de la regresión lineal de la relación de la AM con el CP en empresas de Aguascalientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
(Constante)	.110	.165		.668	.505
Administración de materiales	.939	.045	.765	21.094	.000

Fuente: elaboración propia con base en el resultado del análisis de regresión lineal realizado.

Del análisis de regresión realizado, se obtiene la ecuación del modelo generado para determinar el control de la producción (CP) que se tiene en las empresas en Aguascalientes, dependiendo del grado de administración de materiales (AM), con que se cuente durante la operación.

$$CP = 0.110 + 0.939 AM$$

En las dimensiones involucradas en la AM, se llevó a cabo una regresión lineal por pasos para encontrar el resultado generado. Éste muestra que lo relacionado con el abastecimiento de materiales, esta es la variable, de las analizadas en la AM, la que influye mayormente sobre el CP; el resultado se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultado de la regresión lineal por pasos de la relación de la AM con el CP en empresas de Aguascalientes

	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		
	B	Error estándar	Beta	t	Sig.
(Constante)	.184	.173		1.067	.287
Abastecimiento de materiales	.407	.069	.396	5.904	.000
Manejo de materiales	.347	.079	.286	4.390	.000
Control de inventarios	.170	.065	.148	2.605	.010

Fuente: elaboración propia, con base en el resultado del análisis de regresión lineal por pasos realizado.

De acuerdo con esta tabla, se observa que lo que se considera con mayor impacto para el CP es el abastecimiento de materiales y la que en este momento influye en menor grado es el control de los inventarios.

De igual manera, también se genera la ecuación que explica el nivel de control de producción (CP) con que se cuenta, dependiendo del estado de operación y control de las dimensiones que se analizaron para verificar la administración de materiales (AM), los cuales son el abastecimiento de materiales, la disposición de materiales a producción y el control de los inventarios.

$$CP = 0.184 + 0.407 (\text{Abastecimiento de materiales}) + 0.347 (\text{Disposición de materiales a producción}) + 0.17 (\text{Control de inventarios})$$

Conclusiones

Con base en esta investigación, se puede concluir que existe una relación bastante cercana entre la AM y el CP y que esta es positiva; es decir, al mejorar la primera, de manera inmediata y directa también mejora el control de la producción, ya que la relación entre insumos y la transformación de estos no se ve

afectada por la falta, retraso, o mala calidad, lo que permite cumplir con todas las condiciones de los clientes.

Por otro lado, la responsabilidad no es únicamente del área de materiales, puesto que esta depende totalmente de la información generada por el resto de los departamentos que forman la organización, principalmente porque actualmente se administra con base en la demanda y en la planeación que cada área hace de sus capacidades y necesidades. Así éstas se organizan en acciones que detonan, precisamente, con la disponibilidad programada de recursos.

El proceso de AM se analizó en tres dimensiones de las que, para el empresario, la más importante es la de abastecimiento de materiales y la que mayormente incide en el CP. Tras el análisis se demuestra que para las empresas en Aguascalientes, el área de compras tiene una responsabilidad muy grande, ya que todos los insumos deben estar disponibles para producción en el tiempo previsto, con retrasos mínimos, de ser posible ausentes. Asimismo, se debe cumplir en tiempos de entrega, y contar con un alto grado de confiabilidad en la calidad de los insumos, a fin de evitar paros no programados y reprocesos por este concepto. Una observación por demás importante es centralizar las compras de todos los insumos en el área de compras, para evitar, en primer lugar, en descontrol en este sentido, así como la corrupción y las dadas, además de que abonaría en el control de los proveedores.

El segundo lugar de importancia es la disponibilidad de materiales a producción, especialmente con sistema Kanban. Este exige de la organización la minimización de inventario en tránsito, por lo que se responsabiliza a la AM de disponer en las estaciones de trabajo el material o los componentes requeridos en la estación de trabajo programada, en el momento justo en que se le haya terminado el trabajo asignado con anterioridad al lote de producción programado. Esto con la condición de no dejar de producir, pero sin la necesidad de tener demasiado inventario sino el óptimo para evitar su paro.

Por último, la dimensión que, en este momento cuenta con menor importancia para lograr tener las condiciones mínimas para el CP, de acuerdo con empresarios de Aguascalientes, es el control de los inventarios, posiblemente porque se tiene la idea de que es el área de AM, en la que se ha tenido atención tradicionalmente, por lo que se tiene mayor experiencia; por lo tanto, en este momento se encuentra con mayor control.

Lista de referencias

- Ala-Risku, T. y Karkainen, M. (2006). Material delivery problems in construction projects: a possible solution. *International Journal of Production Economics*, 104(1), 19 -29.
- Alizon, F., Dallery, Y., Essafy, I. y Feillet, D. (2009). Optimizing material handling cost in assembly workshop. *International Journal of Production Research*, 47(14), 3853-3866.
- Anagnostakis, I., Clark, J. P., Böhme, D. y Völekers, U. (2001). Runway operations planning and control: sequencing and scheduling. *Journal of Aircraft*, 41(4), 195-205.
- Anuar, M. F. y Nagi, R. (1997). Integrated lot-sizing and scheduling for just-in-time production of complex assemblies with finite set-ups. *International Journal Production Research*, 35(5), 1447-1470.
- Arauzo, J., de Benito, J., del Olmo, R. y Sanz, P. (2004). Situación actual y expectativas de los sistemas de fabricación basados en agentes. *VIII Congreso de Ingeniería de Organización*. Leganés.
- Arrieta, P. J. G. (2001). La administración de operaciones y su papel central dentro de toda la organización. *Revista Universidad EAFIT*, 127(1), 19-27.
- Chatfiel, D. C., Hayya, J. C. y Cook, D. P. (2013). Stockout propagation and amplification in supply chain inventory systems. *International Journal of Production Research*, 51(5), 1491-1507.
- Chávez, M. J., Santiesteban, L. N. A. y Luna, F. V. G. (2020). Desarrollo metodológico de aprovisionamiento de materiales a través de MRP. El caso de proveedora del sector automotriz. *Estudios de Administración*, 27(2), 113-133.
- Claudio, D. y Krishnamurthy, A. (2009). Kanban-based pull systems with advance demand information. *International Journal of Production Research*, 47(12), 3139-3160.
- Ha, A. H. (1997). Inventory rationing in a make-to-stock production systems with several demand classes and lost sales. *Management Science*, 43(8), 1093-1103.
- Hariharan, R. y Zipkin, P. (1995). Customer-order information, lead times, and inventories. *Management Science*, 41(10), 1599-1607.

- Irizarry, J., Karan, E. y Fazard, J. (2013). Integrated BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, 31(1), 241-254.
- Louly, M. A. y Dolgui, A. (2013). Optima MRP parameters for a single item inventory with random replenishment lead time, POQ policy and service level constraint. *International Journal of Production Economics*, 57(1), 35-40. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.02.009>
- Navon, R. y Berkovich, O. (2006). An automated model for materials management and control. *Construction Management and Economics*, 4(6), 635-646.
- Noori, H. y Radford, R. (1997). *Administración de operaciones y producción*, Mc. Graw Hill.
- Nunnally, J. C. y Bernstein, I. H. (1994): *Psychometric Theory*. McGraw Hill.
- Rusell, R. y Taylor III, B. (2000). *Operations management*. Prentice Hall.
- Sarkar, S. y Shewchuk, J. P. (2013). Use of advance demand information in multi-stage production-inventory systems with multiple demand classes. *International Journal of Production Research*, 51(1), 57-68.
- Zahorik, A., Thomas, L. J. y Trigerio, W. W. (1984). Network programming models for production scheduling in multi-stage capacitated system. *Management Science*, 30(3), 308-325.
- Zulkepli, I., Fong, C. H. y Abidin, N. Z. (2015). Demand forecasting for automotive sector in Malaysia by systems dynamics approach. *AIP Conference Proceedings*, 169(1), 1-8. Recuperado de <https://doi.org/10.1063/1.4937050>



Capítulo 3. La influencia de la gestión de la cadena de suministro y aspectos productivos en el rendimiento de las PYMES manufactureras

Octavio Hernández Castorena*
Alba Rocío Carvajal Sandoval**
Mónica Colín Salgado***

Introducción

En la actualidad, para el mejor desempeño de las actividades operativas de las PYMES manufactureras se requiere de estrategias que les garanticen ser eficaces así como productivas (Kadavaramath, Mohanasundaram, Sarath y Rameshkumar, 2008). Para ello requiere tener los insumos en tiempo y forma para que los procesos productivos puedan trabajar sin demoras (Flynn, Schroederny Sakakibara, 1995; Hendricks y Singhal, 2001, y Soteriou y Chase, 2000). En este sentido, los empresarios deben tener previo análisis de cómo opera la red de suministros y evaluar su

* Universidad Autónoma de Aguascalientes. Centro Económico Administrativo. Tel. 00 52 (449) 910-84-60, octavio.hernandezc@edu.uaa.mx

** Universidad Pontificia Javeriana. Facultad de Contabilidad. Tel. +57 3208026940, alba.carvajal@javeriana.edu.co

*** Universidad del Externado. Facultad de Administración. Tel. 57 1 34900005419476 colinsalgado@gmail.com

complejidad (Koh, Saad y Arunachalam, 2006; Salarzadeh, Huang, Azina, Binti, y Wan, 2013). Desde luego que no solamente es tener especial atención en el control de los suministros, sino también tener un control interno en los procesos que garanticen una eficiente operatividad interna (Cotteleer, 2006; Hans, Raffat y Paul 2006; Proteous, 1986, y Singh y Singh, 2008).

Por otro lado, cabe señalar que, para las PYMES manufactureras, el control de los procesos productivos es clave para mejorar su rendimiento empresarial (Cotteleer, 2006; Hans, Raffat y Paul, 2006; Proteous, 1986; Singh y Singh, 2008). En este sentido, el objetivo del presente estudio es dimensionar la influencia de la GCS y los aspectos productivos en el rendimiento de las PYMES manufactureras del estado de Aguascalientes. Asimismo, es importante que el empresario se cuestione si dentro de lo complejo que es la gestión de la cadena de suministro, aquel aporta elementos de provecho para que el rendimiento de este tipo de empresa sea eficaz y si realmente un proceso productivo, debidamente supervisado, puede ser un elemento clave para dar mayor rentabilidad a la PYMES manufactureras.

Fundamentación teórica

Sin duda, estudiar la gestión de la cadena de suministro (GCS), atrae la atención de académicos y empresarios, en especial por la fuerte influencia que tiene en las empresas, ya sea por las estrategias que requieren tomarse para el cumplimiento de los insumos, pero también por lo que representa en los procesos productivos dentro de las empresas (Aguilera, Hernández y López, 2012; Forrester, 1971; Proteous, 1986, y Ramírez y Peña, 2011). Y es precisamente la atención por parte de empresarios e investigadores por atender aspectos relevantes, como el tener cercanía con proveedores, estrategias para el mejor manejo de los materiales y la adecuada comunicación con los involucrados del suministro (Cohen y Moon, 1990; Ettl *et al.*, 2000; Ishii, Takahaski y Muramatsu, 1988; Othman y Abdul, 2008; y Petrovic, Roy y Petrovic, 1998).

Asimismo, es importante resaltar que entre la GCS y los aspectos productivos hay una relación estrecha, ya que de no tener a tiempo y en las cantidades requeridas los materiales e insumos, los procesos internos tendrán problemas naturales de cumplimiento a los clientes más allá de los problemas de organización interna que pondrán en riesgo la eficiencia y productividad de los

procesos (Andersen y Sturis, 1988; Håkansson y Persson, 2004; Sterman, 1989, y Wisner, 2003). Por lo que es importante considerar que la GCS tiene la natural función de estar involucrada con las estrategias de suministros y desde luego las demandas de materiales (Akkermans y Dellaert, 2005; Khouja, 1995; Khouja y Mehrez, 1994; Salama y Jaber, 2000; y Urban, 1992).

Desde otro punto de vista, para que la GCS tenga una mejor incidencia en los aspectos productivos, los empresarios deben enfocar su interés en profundizar sobre estudiar más la GCS e identificar en dónde se requiere tener un mejor dominio sobre el control de la demanda y evaluar las distancias en el abastecimiento (Paik y Bagchi, 2007; Sahay, Jatinder y Mohan, 2006; y Storper y Venables, 2002). En este sentido, las PYMES manufactureras requieren de mayor análisis en el concepto de GCS para tener una mejor gestión del suministro, intervención de intermediarios y tener suministros a tiempo para que las actividades operativas de los procesos productivos cumplan sin problema con los compromisos generados con los clientes (Kadadevaramath *et al.*, 2008; O'Farrell, Wood y Zheng, 1998; Roberts, 1998; y Strambach, 2002).

Para las PYMES manufactureras, contar con aspectos productivos eficientes y con una adecuada administración, permite que su rendimiento empresarial sea mejor (Anzola, 2001; y Christopher y Holweg, 2011). Esto permite que las empresas tengan actividades operativas garantizadas para que los clientes no duden del desempeño de este tipo de organizaciones (Bardhan, Mithas y Lin, 2007). Desde un punto de vista estratégico, los empresarios requieren analizar los aspectos productivos de sus empresas con el propósito de evaluar cómo implementar alguna mejora que le permita tanto al proceso como a la organización tener mejores resultados en su rendimiento (Bardhan *et al.*, 2007; Gosain, Malhotra y El Sawy, 2005; Kakabadse y Kakabadse, 2002; Ketokivi, 2006; Meyer y Wittenberg-Cox, 1994; Taylan, 2006; y Thurm, 2007).

Es importante resaltar que, en la actualidad, el tema del rendimiento para las PYMES manufactureras es elemental, por lo que el control de los aspectos productivos requiere ser una actividad prioritaria en los empresarios (Das y Elango, 1995), y es necesario que se analice constantemente en estrategias útiles que incidan, a fin de que se tengan indicadores que favorezcan tanto los aspectos productivos como el rendimiento empresarial (Collins y Schmenner, 1993); lo anterior con la finalidad de tener procesos confiables que permitan ofrecer a los clientes productos de alta calidad, a bajos costos y con garantías de servicio que tengan una influencia significativa en los clientes, lo que

conlleva a mejorar los índices de rendimiento en este tipo de empresas (Kakabadse y Kakabadse, 2002; Thomke, 1997).

Desde luego que es importante resaltar que si las PYMES manufactureras cuentan con aspectos productivos eficaces, los compromisos que se tengan con los clientes se podrán cumplir sin problemas (Diez y Abreu, 2009), por lo que es necesario que, además de contar con personal capacitado, los procesos productivos deben estar plena y correctamente supervisados para que las mejoras sean eficaces, lo que requiere previamente de un análisis exhaustivo sobre la administración del procesos, la suficiente documentación para su control, la funcionabilidad de los equipos y la visión de tener claros cuáles son los indicadores que influyen en este tipo de organizaciones para que se pueda tener un mayor rendimiento y desde luego un mayor desarrollo de las empresas (Diez y Abreu, 2009; y Tafolla, 2000).

Finalmente, es importante resaltar que en las PYMES manufactureras se requiere de un análisis más estrecho en la relación de la GCS y el rendimiento por la naturaleza de los beneficios que puede generar esta relación (Kadadevaramath *et al.*, 2008; Ramírez y Peña, 2011; Singh y Urvashi, 2010; y Wisner, 2003), para ello se plantea la siguiente hipótesis:

H₁: La gestión de la cadena de suministro incide positivamente en el rendimiento de las PYMES manufactureras en Aguascalientes, México.

Respecto a los procesos productivos, su confiabilidad requiere de estrategias previas que le permita funcionar con el propósito con que fue diseñado; esto tendrá una fuerte influencia para que las PYMES manufactureras sean más rentables (Chan, Xie y Goh, 2000; Choudhury Hartzel Konsynski, 1998; y Mithas y Jones, 2007). En este sentido se plantea la siguiente hipótesis:

H₂: Los aspectos productivos inciden positivamente en el rendimiento de las PYMES manufactureras en Aguascalientes, México.

Metodología

Para el presente estudio, se aplicó a gerentes de empresas manufactureras un instrumento de medición integrado por tres bloques: gestión de la cadena de suministro; aspectos productivos, y rendimiento. Cada uno de los bloques está integrado por indicadores operacionalizados con la escala Likert 1-5, donde 1 es Total desacuerdo y 5 Total acuerdo. El diseño de la investigación fue

transversal, descriptivo y correlacional. El nivel de confianza del estudio fue de 95% con error muestral de 5%. Se utilizó para el análisis de los datos el *software* estadístico SPSS versión 23. Se consideró para el análisis una población de 442 PYMES manufactureras y una muestra de 288 unidades.

Es importante considerar en el presente estudio que, de las empresas encuestadas, aproximadamente 58% de ellas son de control directivo familiar y, en este sentido, aproximadamente en 46% los puestos de dirección son ocupados por un familiar del dueño de la organización. Respecto a la preparación de quien ocupa un puesto directivo, prevalece que de 100% de los gerentes, 51% son hombres y tienen una formación a nivel licenciatura, mientras que 7% son mujeres en el mismo nivel de estudios. El resto de los porcentajes se concentra en directivos con formación de nivel preparatoria, en donde 27% son hombres y 7% son mujeres. Respecto a directivos con nivel posgrado sólo 5% corresponde a hombres y sólo 3% es del género femenino.

Resultados y discusión

En la presente investigación se analizaron los datos obtenidos del trabajo empírico en donde mediante el uso del *software* SPSS versión 23 y se utilizaron las técnicas de análisis de fiabilidad con el apoyo del Alfa de Cronbach, análisis descriptivo y análisis de regresión, considerando como variable dependiente el bloque rendimiento. Respecto al análisis de Alfa de Cronbach, los resultados son considerados aceptables (Celina y Campo, 2005; Frías, 2014; George y Mallery, 2003; y Hair, Anderson, Tatham, y Black, 1995). Para confirmar la validación de la fiabilidad del instrumento utilizado para el presente estudio en los tres bloques utilizados en el modelo teórico (figura 1), se aplicó un análisis de Alfa de Cronbach (Bagozzi y Yi, 1988; Ledesma, Molina y Valero, 2002; y Nunnally, 1967), obteniendo los siguientes resultados:

- a) Bloque I: Gestión de la Cadena de Suministro: 0.969.
- b) Bloque II: Actividades Productivas: 0.940.
- c) Bloque II: Rendimiento: 0.939.

Los resultados para el Alfa de Cronbach son considerados adecuados, considerando, por un lado, que los valores mínimos aceptables son de 0.7. Respecto

a los valores descriptivos por cada indicador de los bloques utilizados en el modelo teórico, la Tabla 1 muestra los valores de la media de cada uno de los indicadores correspondientes al bloque I de Gestión de la Cadena de Suministro:

Tabla 1. Análisis descriptivos para el bloque de Gestión de la Cadena de Suministro

<i>Ítem</i>	<i>Indicador</i>	<i>Media</i>
CS01	Determinar las necesidades futuras del cliente	4.28
CS02	La reducción de los tiempos de respuesta a través de la cadena de suministro	4.16
CS03	Mejorar la integración de las actividades a través de la cadena de suministro	4.20
CS04	La búsqueda de nuevas formas de integrar las actividades de sistema de cadena de suministros	4.19
CS05	Creación de un mayor nivel de confianza en toda la cadena de suministro	4.23
CS06	El aumento de las capacidades de su empresa justo a tiempo	4.26
CS07	El uso de un proveedor externo de servicios en sistemas de cadena de suministro	4.03
CS08	Identificar y participar en las cadenas de suministro adicionales	4.09
CS09	Establecer un contacto más frecuente con los miembros de la cadena de suministro	4.26
CS10	Creación de una comunicación de la cadena de suministro compatible y sistema de información	4.10
CS11	La creación de acuerdos formales de intercambio de información con proveedores y clientes	4.15
CS12	Existencia de una manera informal para compartir información con proveedores y clientes	3.69
CS13	Ponerse en contacto con sus usuarios de las cadenas de suministro para conseguir el producto y la retroalimentación de servicio al cliente	4.11
CS14	Involucrar a todos los miembros de la cadena de suministro en los planes de marketing de productos de su empresa/servicios	3.96
CS15	Comunicar las necesidades futuros clientes estratégicos a lo largo de la cadena de suministro	4.06
CS16	La extensión de la cadena de suministro más allá de los clientes de su empresa y proveedores	4.01

<i>Ítem</i>	<i>Indicador</i>	<i>Media</i>
CS17	La comunicación de su empresa en las necesidades estratégicas a futuro con proveedores	4.08
CS18	Participar en los esfuerzos de marketing de los clientes de su empresa	4.06
CS19	La participación en las decisiones de abastecimiento de los proveedores de su empresa	4.06
CS20	Creación de equipos de sistema de cadena de suministro, incluidos los miembros de las diferentes empresas involucradas	3.93

Fuente: elaboración propia.

La Tabla 1 muestra que, ante la percepción de los gerentes o dueños de las PYMES manufactureras en Aguascalientes en el tema de gestión de la cadena de suministro, los proveedores requieren tener en cuenta las necesidades futuras de los clientes, así como estar atentos a los cambios en su capacidad para evitar problemas de entregas justo a tiempo para que el nivel de confianza en toda la cadena de suministro sea eficaz y productiva. En este sentido, la comunicación y cercanía entre proveedores y empresa adquisitora requiere ser eficiente y detallada para evitar fallas en los suministros. Por otro lado, la Tabla 2 muestra aspectos importantes que refieren el análisis de los aspectos productivos de este tipo de organizaciones (PYMES manufactureras).

Tabla 2. Análisis descriptivos para el bloque de Actividades Productivas

<i>Código</i>	<i>Indicador</i>	<i>Media</i>
APo1	Tiene tecnologías de información de nivel superior que sus competidores	3.35
APo2	Tiene tecnologías de información suficientes para satisfacer necesidades de sus clientes	3.61
APo3	Tienen tecnologías de la información apropiadas para negociar con sus proveedores	3.60
APo4	Con poca frecuencia utiliza tecnologías de información para tomar decisiones	3.27
APo5	Muchos procesos de producción están automatizados	3.50
APo6	Gran parte de los equipos están controlados automáticamente	3.40

<i>Código</i>	<i>Indicador</i>	<i>Media</i>
APo7	La tecnología incorporada en sus procesos productivos le otorga alguna ventaja ante sus competidores	3.57
APo8	El proceso productivo incluye registros y análisis de productividad	3.88
APo9	Frecuentemente se hace un análisis de los niveles de inventario	3.93
AP10	La toma de decisiones considera “economía de escala” posibles	3.69
AP11	La producción es flexible	3.84
AP12	Tiene la capacidad de fabricar productos de calidad	4.34
AP13	Considera importante entregar productos con alto nivel de calidad	4.66
AP14	En cada ciclo de producción se utiliza control estadístico de proceso	4.11
AP15	Periódicamente efectúa auditorías sobre la cantidad del producto	4.18
AP16	Evalúa periódicamente los costos de no calidad	4.06
AP17	Evalúa el dinero que se invierte en el área de calidad	4.19
AP18	Tiene un encargado de control de calidad	1.22
AP19	Las instalaciones se encuentran en óptimo estado para su utilización diaria	4.35
AP20	La maquinaria y equipo están en óptimo estado para su utilización diaria	4.27
AP21	Periódicamente se registra el mantenimiento a su maquinaria y equipo	4.23
AP22	Evalúa el dinero que se invierte en el área de Mantenimiento	4.19

Fuente: elaboración propia.

Los resultados mostrados en la Tabla 2, a percepción de los empresarios o dueños de las PYMES manufactureras consideran importante entregar productos elaborados al cliente con un nivel de calidad alto, tener la capacidad de fabricar productos con altos estándares de calidad y, por supuesto, tener instalaciones apropiadas para contar con adecuados procesos productivos. Finalmente, en la Tabla 3, se muestran los indicadores que refieren el rendimiento de las PYMES manufactureras del estado de Aguascalientes.

Tabla 3: Análisis descriptivos para el bloque de Rendimiento

Código	Indicador	Media
RO01	Calidad del producto/servicio	4.36
RO02	Eficiencia en los procesos operativos internos	4.14
RO03	Organización de las tareas del personal	4.20
RO04	Satisfacción de los clientes	4.38
RO05	Rapidez de adaptación a las necesidades de los mercados	4.14
RO06	Imagen de la empresa y de sus productos/servicios	4.23
RO07	Incremento de la cuota de mercado	4.13
RO08	Incremento de la rentabilidad	4.14
RO09	Incremento de la productividad	4.19
RO10	Motivación/satisfacción de los trabajadores	4.18
RO11	Reducción de la rotación de personal (abandono voluntario del personal)	4.11
RO12	Reducción del ausentismo laboral	4.15

Fuente: elaboración propia.

Los resultados de la Tabla 4 muestran que, ante la percepción de los dueños o gerentes de las PYMES manufactureras, el desempeño de sus empresas se debe principalmente a la satisfacción de sus clientes, a la calidad de sus productos o servicios y a la imagen de la propia organización, así como de la calidad de sus productos o servicios.

Los resultados obtenidos del análisis de la regresión y de la correlación de Pearson, en la Tabla 4 indican que, para el mejor rendimiento de las PYMES manufactureras en Aguascalientes, México, las buenas prácticas de la gestión de la cadena de suministro se explican aproximadamente 75%, mientras que los aspectos productivos explican aproximadamente 62% los resultados del desempeño de este tipo de organizaciones. Asimismo, los resultados muestran que el modelo teórico presenta los siguientes rasgos: Valor robusto (t) de 10.548, significancia de 0.05 (valor de p), valor FIV (Factor de la inflación de la varianza) de 1.979 (Lo cual indica que el modelo no presenta problemas de multicolinealidad, según Hair *et al.*, 1995).

Tabla 4. Resultados del análisis de regresión lineal y correlación de Pearson

Variable	Indicador independiente	Análisis de regresión y correlación	
Rendimiento	Gestión de la cadena de suministro	0.751*	R ² ajustada = 0.603
		Valor de t (10.548)	Valor de F = 371.072
	Aspectos productivos	0.672**	FIV mas alto = 1.979
		Valor de t (10.548)	Sig. 0.000

*p < 0.001; **p < 0.05

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el software SPSS versión 23.

La Tabla 5 muestra el resumen del modelo teórico propuesto en la presente investigación, en el cual se obtuvo un valor de R de 0.778 y un valor de R² ajustada de 0.603 lo que indica que los indicadores de gestión de la cadena de suministro y aspectos productivos están correlacionados aproximadamente 60.3% con la variable de rendimiento.

Tabla 5. Resumen del análisis del modelo de regresión lineal

Modelo	<i>t</i>
R	0.778
R cuadrado	0.605
R ² ajustado	0.603
Error típico de la estimación	0.419
Durbin-Watson	1.834

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el software SPSS versión 23.

Respecto a las hipótesis planeadas (H1 y H2), se puede concluir que tanto la gestión de la cadena de suministro como los aspectos productivos, tienen una incidencia además de positiva, significativa en las PYMES manufactureras respecto al rendimiento empresarial, lo que indica que son empresas confiables y operativamente productivas. Por otro lado, el modelo de regresión que analiza la relación entre las variables Gestión de la Cadena de Suministro y Aspectos Productivos (Xn) con respecto a la variable dependiente (Y1)

identificada como Rendimiento, tienen soporte teórico con la expresión matemática que se muestra a continuación: $Y_1 = \beta_0 + (\beta_1 * x_1) +/- \epsilon$

$$\text{Rendimiento} = 1.123 + 0.494 \text{ Gestión de la Cadena de Suministro} + 0.276 \text{ Aspectos Productivos} +/- 0.047 \epsilon$$

Conclusiones

En los trabajos de investigación de Wisner (2003), refiere la importancia que tiene la cercanía con los proveedores en cuanto a gestión comunicación y acuerdos con el propósito de garantizar y reducir los riesgos en las entregas de los suministros cualquiera que estos sean. En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio, aunque centrados en la esencia general de la GCS y en los aspectos productivos, los empresarios de las PYMES manufactureras perciben igual de importante tener adecuada relación con los proveedores para que sus procesos internos productivos no tengan fallas y demoras importantes que afecten finalmente los compromisos que se tengan con los clientes por razones de entregas a destiempo y con fallas en la calidad de sus materiales.

Ante la percepción de los dueños o responsables de la actividad empresarial de la PYMES manufactureras en Aguascalientes, México, consideran de vital importancia como GCS estar atentos ante las necesidades de los clientes y para ello las entregas justo a tiempo representan no sólo imagen sino presencia empresarial en la necesidad del cliente. Asimismo, ante la complejidad que es la GCS, es importante el control de la distribución para que se garantice cada una de las etapas donde se movilizan los suministros y, desde luego, la comunicación constante con los proveedores dará mayores garantías de cumplimiento para que los procesos internos no se demoren o tengan problemas de eficiencia, así como de productividad.

Por otro lado, los resultados muestran que para los empresarios de las PYMES manufactureras en Aguascalientes, es muy necesario contar con la infraestructura apropiada para que se puedan realizar las actividades en el orden que los procesos lo necesiten, puesto que para los clientes, una buena distribución de áreas y el control de los procesos es una garantía de control productivo, sin hacer a un lado los aspectos de calidad y mantenimiento,

puesto que inciden en la calidad de los productos finales que deben entregarse al cliente. El tener armonizados los espacios dentro de una empresa da imagen y garantía de productividad, innovación, calidad, organización y profesionalismo empresarial. Desde luego, para los empresarios es importante integrar en las mejoras, el desarrollo de los empleados.

La correlación que existe de los bloques GCS y Aspectos Productivos con respecto al rendimiento de las PYMES manufactureras, según los resultados obtenidos del trabajo empírico realizado, muestran que por un lado la GCS como modelo teórico es significativo y como análisis de regresión representa para el buen desempeño de las empresas 49.4% de incidencia positiva. Como aspectos productivos, la correlación refiere en el modelo teórico una significancia alta, mientras que como regresión su incidencia es de 27.6% al desempeño de las empresas. Esto quiere decir que impacta más en las PYMES manufactureras el tener más enfoque de la GCS que de los aspectos productivos, considerando con ello que, si se tiene los suministros en tiempo y forma, por consecuencia, los procesos internos tendrán más garantía de cumplirse al 100 por ciento.

Asimismo, es importante que los empresarios consideren que para garantizar el éxito de sus operaciones operativas en el manejo y flujo de los recursos materiales, se deben realizar constantemente diagnósticos en las secciones clave del manejo de materiales: el suministro, las actividades operativas internas de la empresa y la logística de salida de los productos. Y para llevar a cabo este diagnóstico, se recomienda utilizar el modelo de cadena de valor de Michael Porter (1980), el cual puede revisar a detalle los aspectos de logística, operaciones internas, embarques, aspectos de *marketing* y ventas, retroalimentación con los clientes así como los apoyos como infraestructura, recursos humanos, abastecimiento, innovación y desarrollo. Este modelo pretende mejorar la operatividad de la empresa para garantizar la eficiencia en los suministros, la continuidad de las operaciones productivas y los cumplimientos con los clientes.

Finalmente, es importante resaltar que Aguascalientes es un estado que en la actualidad tiene un desarrollo industrial de impacto que incide sin duda en el PIB del estado y del país, y en este sentido, los empresarios con el espíritu de mantenerse en el mercado y actualizados realizan estrategias que les permita estar en la mira de los clientes, clientes que, de no tener garantías de cumplimiento, sin duda buscan proveeduría en otras regiones. Es por ello que, para los empresarios de Aguascalientes, la actualización y trabajo en equipo

son elementos clave que deben cultivar de otra manera; si no se tiene fortaleza como empresa, difícilmente podrán tener un adecuado control de la GCS y más aún, control interno de los aspectos productivos que la empresa requiera para lograr su mejor desempeño.

Lista de referencias

- Aguilera, E. L., Hernández, C.O. y López, T.C.G. (2012). La gestión de las cadenas de suministro y los procesos de producción. *Mercados y Negocios*, 13(2), 43-66.
- Akkermans, H. y Dellaert, N. (2005). The rediscovery of industrial dynamics: The contribution of system dynamics to supply chain management in a dynamic and fragment world. *System Dynamics Review*, 21(3), 173-186.
- Andersen, D. F. y Sturis, J. (1988). Chaotic structures in generic management models: Pedagogical principles and examples. *System Dynamics Review*, 4(1-2), 218-245.
- Anzola, R. S. (2001). *Administración de pequeñas empresas*. México: McGraw-Hill.
- Bagozzi, R. y Yi, Y. (1988). On the evaluation of structural equation models. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 16(1), 74-94.
- Bardhan, I., Mithas, S. y Lin, Shu (2007). Performance impacts of strategy, information technology applications and business process outsourcing in U. S. manufacturing plants. *Production and Operations Management*, 16(6), 747-762.
- Chan, L.Y., Xie, M. y Goh, T. N. (2000). Cumulative quantity control charts for monitoring production processes. *International Journal Production Res*, 38(2), 397-408.
- Choudhury, V., Hartzel, K. S. y Konsynski, B. R. (1998). Uses and consequences of electronic markets: An empirical investigation in the aircraft parts industry. *MIS Quarterly*, 22(4), 471-507.
- Christopher, M. y Holweg, M. (2011). Supply Chain 2.0: managing supply chains in the era of turbulence. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 41(1), 63-82.
- Cohen, M. A. y Moon, S. (1990). Impact of production scale economies, manufacturing complexities and transpiration costs on supply chain facility

- networks. *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 3(1), 269-292.
- Collins, R. S. y Schmenner, R. (1993). Achieving rigid flexibility: factory focus for the 1990's. *European Management Journal*, 11(4), 443-447.
- Cotteleer, M. J. (2006). An empirical study of operational performance parity following enterprise system deployment. *Production and Operations Management*, 15(1), 74-87.
- Das, T. K. y Elango, B. (1995). Managing strategic flexibility: Key to effective performance. *Journal Gen. Management*, 20(3), 60-75.
- Diez, J. y Abreu, J.L. (2009). Impacto de la capacitación interna en la productividad y estandarización de procesos productivos: un estudio de caso, Daena. *International Journal of Good Conscience*, 4(2), 97-144.
- Ettl, M., Feign, G. E., Lin, G. Y. y Yao, D. D. (2000). A supply network model with base stock control and service requirements. *Operations Research*, 48(1), 216-232.
- Flynn, B. B., Schroeder, R. G., y Sakakibara, S. (1995). The impact of quality management practices on performance and competitive advantage. *Decision Sciences*, 26(5), 659-691.
- Forrester, J. W. (1971). *Dinamica Industrial*. Buenos Aires, Argentina: Ateneo.
- Fornell, C. y Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39-50.
- Gosain, S., Malhotra, A. y El Sawy, O.A. (2005). Coordination for flexibility in e-business supply chains. *Journal of Management Information Systems*, 21(3), 7-45.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L. y Black, W. C. (1995). *Multivariate data analysis with readings*. Prentice-Hall, New York, NY.
- Håkansson, H. y Persson, G. (2004). Supply chain management: the logic of supply chains and networks. *The International Journal of Logistics Management*, 15(1), 11-26.
- Hans, S., Raffat, N. I. y Paul, B. L. (2006). Joint economic lot size in distribution system with multiple shipment policy. *International Journal of Production Economics*, 102(1), 302-316.
- Hatcher, L. (1994). *A step by step approach to using the SAS system for factor analysis and structural equation modeling*. Cary, NC: SAS Institute Inc.

- Hendricks, K. B. y Singhal, V. R., (2001). The long-run stock price performance of firms with effective TQM programs. *Management Science*, 47(3), 359-368.
- INEGI (2018). *Instituto de Nacional de Geografía e Informática*. Aguascalientes, México.
- Ishii, K., Takahashi, K. y Muramatsu, R. (1988). Integrated production, inventory and distribution systems. *International Journal of Production Research*, 26(3), 473-482.
- Kadavevaramath, R., Mohanasundaram, K. M., Sarath Chandra, P. S. y Rameshkumar, K. (2008). Optimizing manufacturing and supply chain operations in logistics management. *The Icfai Journal of Supply Chain Management*, 5(1), 25-40.
- Khouja, M. (1995), The economic production lot size model under volume flexibility. *Computer and Operation Research*, 22(5), 515-523.
- Khouja, M. y Mehrez, A. (1994). An economic production lot size model with imperfect quality and variable production rate. *Journal of Operational Research Society*, 45(12), 1405-1417.
- Koh, S. C. L., Saad, S. y Arunachalam, S. (2006). Competing in the 21st century supply chain through Supply chain management and enterprise resource planning integration. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 36(6), 455-465.
- Kakabadse, A. y Kakabadse, N. (2002). Trends in outsourcing: Contrasting USA and Europe. *European Management Journal*, 20(1), 189-198.
- Ketokivi, M. (2006). Elaborating the contingency theory of organizations: The case of manufacturing flexibility strategies. *Production and Operations Management*, 15(2), 215-228.
- Meyer, A. y Wittenberg-Cox, A. (1994). *Nuevo enfoque de la función de producción, calidad y flexibilidad*. Folio.
- Mithas, S. y Jones, J. L. (2007). Do auction parameters affect buyer surplus in e-auctions for procurement? *Production of Operations Management*, 16(4), 455-470.
- Nunnally, J. C. y Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory*. 3ª ed. New York: McGraw-Hill.
- O'Farrell, P.N., Wood, P. A. y Zheng, J. (1998). Regional influences on foreign market development by business service companies: elements of a strategic context explanation. *Regional Studies*, 32(1), 31-48.

- Othman, R. y Abdul, G. R. (2008). Supply chain management and suppliers' HRM practice. *Supply Chain Management: An International Journal*, 13(4), 259-262.
- Paik, S. K., y Bagchi, P. K. (2007). Understanding the causes of the bullwhip effect in a supply chain: International. *Journal of Retail & Distribution Management*, 35(4), 308-322.
- Petrovic, D., Roy, R. y Petrovic, R. (1998). Modeling and simulation of a supply chain in an uncertain environment. *European Journal of Operational Research*, 109(1), 299-309.
- Proteous, E. L. (1986). optimal lot sizing, process quality improvement and setup cost reduction. *Operations Research*, 34(1), 137-144.
- Porter, M. E. (1980). *Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors*. New York: Free Press.
- Raymond, L. y St-Pierre, J. (2005). Antecedents and performance outcomes of advanced manufacturing systems sophistication in SMEs. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(5/6), 514.
- Ramírez, S. A. y Peña, G. E. (2011). Análisis de comportamiento caótico en variables de la Cadena de Suministro. *Journal Economics Finance Administration Science*, 16(31), 20-36.
- Roberts, J. (1998). *Multinational business service firms: the development of multinational organizational structures in the UK business services sector*. Aldershot: Ashgate
- Sahay, B. S., Jatinder N. D.G. y Mohan, R. (2006). Managing supply chains for competitiveness: the Indian scenario. *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(1), 15-24.
- Salarzadeh, J. H., Huang, H., Azina I. N., Binti, M. N. S. y Che Wan, J. Ch. (2013). Impact of supply chain management on the relationship between enterprise resource planning system and organizational performance. *International Journal of Business and Management*, 8(19), 107-121.
- Singh, S. y Urvashi, R. (2010). Supply chain models with imperfect production process and volume flexibility under inflation. *The IUP Journal of 62 Supply Chain Management*, 7(1 y 2).
- Singh, S. y Singh, S. R. (2008). Supply chain model for perishable item having exponentially increasing demand rate under fixed trade credit. *International Journal of Applied Mathematical Analysis and Application*, 3(1), 107-118.

- Salama, M. K. y Jaber, M. Y. (2000). Economic production quantity model for items with imperfect quality. *International Journal of Production Economics*, 26(1), 59-64.
- Sterman, J. D. (1989). Modeling managerial behavior: misperceptions of feedback in a dynamic decision-making experiment. *Management Science*, 35(3), 321-339.
- Strambach, S. (2002). Change in the innovation process: new knowledge production and competitive cities. The case of Stuttgart. *European Planning Studies*, 10(2).
- Storper, M. y Venables, A. (2002). Buzz: the economic force of the city. Paper presented at the *DRUID Summer Conference, Industrial Dynamics of the New and Old Economy – Who is Embracing Whom?* Copenhagen/Elsinore, Denmark.
- Soteriou, A. C. y Chase, R. B. (2000). Robust optimization approach for improving service quality. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2(3), 264-286.
- Tafolla, H. (2000), *Estandarización y globalización. Segmento*, Instituto Autónomo de México, 6. Recuperado de www.itam.com.mx
- Taylan, O. (2006). Neural and fuzzy model performance evaluation of a dynamic production system. *International Journal of Production Research*, 44(6), 1093-1105.
- Thomke, S.H. (1997, marzo). *The role of flexibility in the design of new products: An empirical study*, *Research Policy*, 105-109.
- Thurm, S. (2007), *Behind outsourcing: Promise and pitfalls in Wall Street Journal*. Washington, DC, B3.
- Urban, T. L. (1992). Deterministic inventory models incorporating marketing decision. *Computers and Industrial Engineering*, 22(1), 85-93.
- Wisner, J. D. (2003). A structural equation model of supply chain management strategies and firm performance. *Journal of Business Logistics*, 24(1), 1-26.



Capítulo 4. Análisis del OEE en una industria alimentaria de San Luis Potosí, México

Juan José Bravo Castillo*
Adriana Eugenia Ramos Ávila**
Azucena del Carmen Martínez Rodríguez***
Idalia Acosta Castillo****

Introducción

A partir del análisis de métodos y movimientos en cada una de las tareas que se llevan a cabo en una organización, la administración de operaciones es una herramienta que permite tomar decisiones estratégicas, a largo, mediano y corto plazos,

* Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Contaduría y Administración, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado. Tel. 444 8261450, ext. 8316, maestriajjbc@gmail.com.

** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Contaduría y Administración, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado. Tel. 444 8261450, ext. 8316, adriana.ramos@uaslp.mx.

*** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Contaduría y Administración, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado. Tel. 444 8261450, ext. 8312, azucenardz@uaslp.mx.

**** Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Contaduría y Administración, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado. Tel. 444 8261450, ext. 8312, idalia.acosta@uaslp.mx.

aplicando de manera eficiente los recursos humanos y económicos de la organización, e involucrando las áreas de administración, producción, logística y mejoramiento de procesos, con el propósito de satisfacer las necesidades del mercado (Arrieta, 2002). Es decir, la administración de operaciones es una pieza clave para el desarrollo estratégico de las organizaciones, porque le permite fortalecer su competitividad a través de la productividad; que contribuye a generar ganancias, a ser rentable, y a mantenerse en el mundo desafiante de los negocios demostrando su desempeño con un rendimiento eficiente. De ahí la importancia de elegir una estrategia de operaciones que favorezca optimizar los recursos y descubrir la ventaja competitiva que haga la diferencia entre los competidores (Jiménez León, 2020).

Asimismo, para llevar a cabo un control cuantitativo en la productividad y evaluar el desempeño o el grado en que una organización cumple con sus objetivos, existen indicadores que miden y sintetizan situaciones importantes de las que se desea conocer su evolución en el tiempo. Con estos se monitorean y ajustan las acciones de un proceso determinado, para lograr los objetivos establecidos en un contexto específico. Por lo tanto, es necesario contar con información disponible para que a partir de ella se puedan construir indicadores, que se derivan del producto de la selección y elaboración de un posible conjunto de datos, mismos que ayudan a reconocer y resolver problemas (Morales González *et al.*, 2013).

Tal es el caso del índice de Efectividad General de los Equipos (OEE, por sus siglas de Overall Equipment Effectiveness), que permite identificar problemas indirectos, como son las pérdidas en la producción, los costos de productividad y calidad, las barreras para su implementación, necesidades de información precisa, mantenimiento, capacitación y gestión, entre otros (Binti *et al.*, 2016). Esto contribuye a que el mantenimiento del equipo o maquinaria en las organizaciones se lleve a cabo con actividades proactivas y no reactivas, diseñando estrategias dirigidas a perfeccionar el estado de la gestión del mantenimiento, adoptando nuevas formas de pensar y actuar, implementando herramientas y métodos que sirvan como apoyo para la toma de decisiones que favorezca la competitividad de la organización (Consuegra Díaz *et al.*, 2017). De manera que el objetivo del presente trabajo es analizar la eficiencia operativa con el índice OEE, en tres áreas de una industria del sector alimentario, ubicada en el estado de San Luis Potosí, México.

Fundamentación teórica

Efectividad General de los Equipos (OEE)

De acuerdo con Dadashnejad y Valmohammadi (2019), el índice OEE es una métrica que ayuda a identificar la eficacia de los equipos de producción; se utiliza como un instrumento que permite estudiar y detectar las oportunidades de mejora para reducir los problemas en la maquinaria de producción: al realizar los cambios y los ajustes que favorecen de forma pertinente los procesos de producción; en el momento que disminuyen los costos, las pérdidas y los errores que se presentan; al mejorar la calidad del producto y la productividad; cuando se promueve el desempeño organizacional y en consecuencia se satisfacen las necesidades que los clientes demandan.

Es decir, la OEE es un indicador que evalúa el rendimiento del equipo mientras se encuentra en operación, lo que contribuye al conocimiento de la eficiencia productiva de una organización, motivo por el cual se utiliza en diversas industrias manufactureras como son las de procesos, la automotriz, la de semiconductores, la metalmecánica, entre otras de la industria manufacturera. Lo anterior tiene la finalidad de obtener un diagnóstico de sus sistemas de producción y de la dirección que siguen las acciones de la mejora continua, tomando en cuenta la vida útil del equipo y las condiciones de este relacionadas con la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, además de identificar los seis tipos básicos de pérdidas y su impacto en la composición de los tiempos del equipo, como se ilustra en la Tabla 1 (Busso y Ikuo, 2013; Canahua, 2021).

Tabla 1. Elementos para calcular el índice OEE

<i>Componentes de OEE</i>	<i>Tipos de pérdida</i>	<i>Composición de los tiempos del equipo</i>
		Tiempo Calendario
Disponibilidad	1. Averías en el equipo.	Pérdidas de
D = (Tiempo de carga-Tiempo de parada)/Tiempo de carga	2. Fallas por configuración o ajuste.	disponibilidad
		Tiempo de operación

	<i>Componentes de OEE</i>	<i>Tipos de pérdida</i>	<i>Composición de los tiempos del equipo</i>	
R =	Rendimiento (Tiempo de ciclo teórico–Cantidad procesada)/ Tiempo de operación	3. Paradas o interrupciones menores.	Pérdidas de rendimiento	Tiempo de operación líquido
		4. Reducción de la velocidad del equipo.		
C =	Calidad (Cantidad procesada– Defectos)/ Cantidad procesada	5. Producción defectuosa o retrabajo.	Pérdidas de calidad	Tiempo con valor agregado
		6. Defectos en el arranque.		

Fuente: adaptada de “An analysis of the application of indicators alternative to overall equipment effectiveness (OEE) in the management of a plant’s overall performance”, por C. Busso y D. Ikuo (2013), *Production*, 23(2), 208; e “Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica”, por N. Canahua (2021), *Industrial Data*, 24(1), 51.

Cabe señalar que, para aplicar una propuesta de mejora, como es el caso del índice OEE, se deben considerar tres fases conforme a la propuesta de Morales-González *et al.* (2013):

- *Fase inicial*: Es esencial esta fase, porque se dan a conocer los conceptos y las aplicaciones de las herramientas de manufactura esbelta, por medio de la capacitación que se ofrece al personal de la industria.
- *Fase de aplicación*: Consiste en utilizar las herramientas de manufactura esbelta que contribuyan a mejorar la disponibilidad del equipo, su rendimiento y con ello obtener productos de calidad.
- *Fase de aseguramiento*: En esta fase se implementa el sistema de mejora continua, para analizar y detectar de manera periódica las áreas de oportunidad en los procesos, con lo que se puede evitar que se repitan los errores anteriores.

Adicionalmente, las personas que toman decisiones deben reconocer los tipos de las pérdidas de producción y las causas de estas, para administrar de manera óptima los recursos de las organizaciones, como lo plantean Muchiri y Pintelon (2008):

- *Pérdidas por causas internas*: Suceden dentro del control de la organización, por lo que tienen que ser examinadas y corregidas para minimizar las pérdidas; éstas a su vez se subdividen en dos categorías.
- *Pérdidas relacionadas con el negocio*, como los problemas organizacionales internos, falta de logística, exceso de productos terminados almacenados, conflictos laborales, proyectos de inversión no terminados, malas condiciones de seguridad, higiene, salud y ambientales, entre otros.
- *Pérdidas relacionadas con la operación*, provocadas por el funcionamiento de la planta, de forma particular los inconvenientes que se presentan en el área de producción, la falta de tiempo y del mantenimiento oportuno en la maquinaria.
- *Pérdidas por causas externas*: Ocurren por factores que están fuera del control de la organización como la falta de demanda en el mercado que puede provocar el cierre de la planta o una menor producción; problemas de logística derivados de la escasez de suministros, transporte o servicios públicos; establecimiento de cuotas de producción por la normatividad ambiental debido a la degradación del medioambiente y las causas naturales como las malas condiciones propiciadas por el clima.

Industria alimentaria

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2019), considera que el sistema alimentario se integra por tres elementos:

- Las cadenas de suministros: Incluye todas las etapas que recorren los alimentos desde su producción, transformación, comercialización y consumo final.
- Los entornos alimentarios: Se refiere a todos los componentes involucrados en los contextos físicos, económicos, políticos y socioculturales que enmarcan la interacción del cliente para adquirir, preparar y consumir los alimentos.

- El comportamiento de los consumidores: Refleja la forma de elegir y las preferencias personales, para adquirir, almacenar, preparar, consumir y distribuir los alimentos en la familia.

Aunado a lo anterior, la industria de la transformación forma parte de un proceso económico, en donde se aprovechan las materias primas nacionales, la fuerza de trabajo y la capacidad instalada de las fábricas, con la finalidad de ofrecer una diversidad de productos como los alimentos industrializados, prendas de vestir, productos de madera, papelería, sustancias químicas, productos minerales, productos metálicos, además de otros productos derivados de la industria manufacturera (Bassols, 1995; Fabián *et al.*, 2001). En otras palabras, las actividades económicas que se llevan a cabo en la industria de la transformación tienen como propósito fabricar bienes materiales o mercancías que han tenido algún cambio durante el proceso productivo, como es el caso de los bienes de consumo no duraderos o bienes de demanda final que se generan en la industria alimentaria (Méndez, 2004).

Por su parte, Torres *et al.* (1997) definen a la industria alimentaria como el conjunto de productos que se obtienen de las diferentes actividades económicas del sector primario (agricultura, ganadería, pesca, silvicultura, entre otras), que han pasado al menos por un proceso de transformación industrial, en donde, como mínimo, se le ha incorporado un insumo adicional a la materia prima básica; y que después de ser manufacturados, se distribuyen en diferentes establecimientos formales para el consumo humano, independientemente del tamaño de la organización, de su nivel tecnológico y de la forma en que se vincula con el mercado.

Sin embargo, en el ámbito de la globalización se fomenta la competencia en las organizaciones que integran la industria alimentaria, de manera que es necesario contar con recursos humanos capaces de afrontar los diversos retos, como el aumento en la difusión del cambio tecnológico, el acceso a diferentes fuentes de información y el incremento en la intensidad del conocimiento. En este sentido, algunas estrategias que pueden adoptar las organizaciones de la industria alimentaria se deben orientar en la vía de los precios, disminuyendo los costos y mejorando la calidad de los productos, desarrollando nuevos diseños, siendo innovadores, aplicando tecnologías de vanguardia, atendiendo las necesidades específicas de los clientes; condiciones para las cuales las organizaciones deben ser más eficientes y flexibles (Diéguez, 2000).

Asimismo, la FAO (2004) afirma que la industria alimentaria en México, para satisfacer los requerimientos de la población que demanda alimentos de calidad, comprende las siguientes actividades:

- Producción de insumos básicos y auxiliares, en donde los productos se encuentran de forma natural, son perecederos y tienen un ciclo de vida.
- Procesamiento o transformación industrial, necesaria para mantener la calidad de los productos y reducir las pérdidas.
- Distribución de los productos, para llegar al consumidor final.

Por otro lado, de acuerdo con las cifras de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) del INEGI (ECONOMEX, 2022), en 2021 el valor de la producción de la industria manufacturera sumó 9 010 744 millones de pesos y de este monto la industria alimentaria aportó 1 440 350 millones de pesos lo que representa 16.0%; tuvo un buen desempeño con un crecimiento de 4.9%, del 2019 al 2021. Además, conforme a los datos proporcionados por DataMéxico (2022), en 2021 la industria alimentaria registró 216 685 unidades económicas a nivel nacional, con una población ocupada de 2.15M (51.2% hombres y 48.8% mujeres), con un salario promedio mensual de \$4.11k MX y una edad promedio de 38.4 años; se observa que el mayor número de trabajadores se ocupó en la elaboración de pan, tortillas, repostería y otros productos de cereales y harinas, así como trabajadores de apoyo en la industria de alimentos, bebidas y productos de tabaco; empleados de ventas, despachadores y dependientes en comercio.

Adicionalmente, para el 2019 en San Luis Potosí había 3 638 unidades económicas, las cuales generaron 28 486 empleos, destacando las ramas en donde se elaboran productos de panadería, tortillería, azúcares, chocolates, dulces y similares, aportando 10% de la producción bruta total de la industria manufacturera del estado. Se observa que las empresas de la industria alimentaria se ubican principalmente en los municipios de San Luis Potosí, Ciudad Fernández, Matehuala y Soledad de Graciano Sánchez, en su área conurbada con San Luis Potosí; y que los productos alimenticios se exportan principalmente a países como Canadá, Colombia, Costa Rica, Estados Unidos de América, El Salvador, Guatemala, Nicaragua y Panamá (Secretaría de Desarrollo Económico, 2020).

Metodología

La metodología que se aplicó fue cuantitativa y descriptiva, porque se utilizó información numérica que permite un lenguaje unificado, la posibilidad de cuantificar y explicar el fenómeno estudiado, utilizar procedimientos estructurados y objetivos así como analizar y medir de manera concreta (Ugalde y Balbastre, 2013). Asimismo, se describe el comportamiento de la variable de OEE, la cual se observó en tres áreas de una industria del sector alimentario, ubicadas en el estado de San Luis Potosí, México, en un periodo multianual (2019-2021) para poder comparar los resultados que se obtienen de cada una de las áreas y evaluar su desempeño (Manterola *et al.*, 2019).

También, es un estudio longitudinal, debido a que se midió el índice OEE de manera mensual en cada una de las tres áreas que integran la industria del sector alimentario, ubicadas en el estado San Luis Potosí, México. Este periodo abarca a partir de 2019, año en que se implementó esta métrica, hasta 2021 (Arнау y Bono, 2008).

Adicionalmente, para calcular el índice OEE que, de acuerdo con Díaz-Contreras *et al.* (2020) y Morales-González *et al.* (2013), es un indicador porcentual que mide la efectividad productiva a través de la disponibilidad, rendimiento y calidad se aplicó la siguiente fórmula (Díaz-Contreras *et al.*, 2020, p. 159; y Silva y Oliveira, 2020, p. 7):

$$\text{OEE} = (\text{Disponibilidad})(\text{Rendimiento})(\text{Calidad})$$

donde

Disponibilidad = Tiempo realmente productivo.

Rendimiento = Aprovechamiento de la capacidad de la máquina durante el tiempo de operación.

Calidad = Cantidad de unidades producidas dentro de los parámetros de calidad establecidos respecto al total de producción realizada.

Cabe señalar que los valores de la disponibilidad, el rendimiento y la calidad, se ubican entre 0 y 1; en consecuencia, los resultados del índice OEE se encontrarán en un rango de 0 y 1, y se expresarán en términos de porcentaje. Estos se pueden clasificar de la siguiente forma como se señala en la Tabla 2 (Díaz-Contreras *et al.*, 2020, p. 160; y Morales-González *et al.*, 2013, p. 136).

Tabla 2. Clasificación de los valores del índice de Efectividad General de los Equipos (OEE)

<i>Clasificación del índice de Efectividad General de los Equipos (OEE)</i>	<i>Valores (%)</i>
Inaceptable o Deficiente: Se producen importantes pérdidas económicas y existe muy baja competitividad.	$OEE < 65\%$
Regular: Aceptable sólo si se está en un proceso de mejora, hay pérdidas económicas y baja competitividad.	$65\% \leq OEE < 75\%$
Aceptable: Hay que mejorar para alcanzar valores de clase mundial, pocas pérdidas económicas y competitividad ligeramente baja.	$75\% \leq OEE < 85\%$
Buena: Los valores son de clase mundial y buena competitividad.	$85\% \leq OEE < 95\%$
Excelente: Cuenta con valores de clase mundial y excelente competitividad.	$95\% \leq OEE \leq 100\%$

Fuente: adaptado de “Efectividad General de Equipos (OEE) ajustado por costos”, por C. A. Díaz Contreras, D. A. Catari Vargas, C. D. J. Murga Villanueva, G. A. Díaz Vidal, y V. F. Quezada Lara (2020), *Interciencia*, 45(3), p. 160, y “Modelación de la cadena de suministro evaluada con el paradigma de manufactura esbelta utilizando simulación”, por Á. Morales González, J. Rojas Ramírez, L. M. Hernández Simón, A. Morales Varela, S. V. Rodríguez Sánchez, y A. Pérez Rojas (2013), *Científica*, 17(3), p. 136.

Aunque Gandhi y Deshpande (2018) afirman que un índice OEE del 85% lo tiene una organización de clase mundial, que cuenta con un 90% de Disponibilidad, 95% de Rendimiento y 99% de Calidad, Gupta y Vardhan (2016) consideran que la medición inicial del índice OEE, cuando se comienzan a establecer las iniciativas TPM (total productive maintenance), normalmente es inferior al 40% en la mayoría de las industrias, pero si es bien administrado el TPM se puede aumentar el índice OEE a un 85%, que es el estándar de las organizaciones de clase mundial, en un periodo de dos a tres años.

De forma complementaria, con en el trabajo que llevaron a cabo Valderrama *et al.* (2015), determinaron que los niveles de eficiencia técnica promedio en las industrias manufactureras mexicanas para el 2009 fue bajo por ser menor del 70%, razón por la cual recomiendan que para incrementar este valor, deben promover el conocimiento a través de programas de capacitación, invertir de manera estratégica para aumentar el capital, atraer capitales extranjeros, integrarse a cadenas de valor globales y utilizar nuevas tecnologías con personal calificado.

Aunado a lo anterior, se aplicó el análisis de varianza ANOVA para las pruebas estadísticas, porque permite hacer una comparación entre tres o más medias muestrales para explicar el comportamiento de una o más variables dependientes métricas; es decir, se busca describir una variable dependiente a partir de “n” variables independientes. También se tomó en cuenta que esta herramienta se ha utilizado en la mejora de procesos de manufactura, en el desarrollo de nuevos procesos, productos y en la mejora de otros ya existentes (Garza *et al.*, 2013; y Lind *et al.*, 2001). Para ello, se establecieron dos etapas en el análisis: en la primera se comparó por cada año el índice OEE en las tres áreas de producción, para revisar si no había diferencias entre las áreas producción en cada uno de los años. Y en la segunda etapa se revisó el índice OEE por cada una de las áreas de producción durante los tres años, para comprobar si en cada una de las áreas de producción no había diferencias durante los tres años. Por lo tanto, se establecieron las siguientes hipótesis.

Primera etapa

H1: El índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) promedio, es igual entre las tres áreas de producción, durante los años 2019, 2020 y 2021.

Segunda etapa

H2: El índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) promedio, es igual al interior de cada una de las tres áreas de producción, durante los años 2019, 2020 y 2021.

Resultados y discusión

Conforme a los datos que se muestran en la Tabla 3, encontramos que el índice OEE promedio en el Área 2 es aceptable por ser mayor a 75%; en el Área 3 y en la Planta es Regular por ser menor de 75%, y en el Área 1 es Deficiente por ser menor de 65 por ciento.

Tabla 3. Promedio del índice de Efectividad General de los Equipos (OEE)

Año	OEE Promedio (%)			
	Área 1	Área 2	Área 3	Planta
2019	65.58	71.94	73.49	70.34
2020	60.86	78.64	76.86	72.12
2021	60.52	83.01	73.25	72.26
Promedio	62.32	77.86	74.53	71.57

Nota: Los valores del índice OEE se encuentran entre 0 y 1, por lo que se expresan en porcentaje.

Es decir, que con los resultados obtenidos, se puede afirmar que el desempeño de la planta en términos generales es Regular, porque en promedio de los tres años y de las tres áreas el índice OEE es de 71.57%, menor de 75%, conforme a la clasificación de Díaz-Contreras *et al.* (2020) y Morales-González *et al.* (2013), pero mayor a 70% que encontraron Valderrama *et al.* (2015) en el estudio que llevaron a cabo de las industrias manufactureras mexicanas.

Asimismo, al realizar el análisis de varianza ANOVA para las pruebas estadísticas con un nivel de confianza de 95%, se encontró lo siguiente.

Primera etapa

Al comprobar las hipótesis:

H₁: El índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) promedio, es igual entre las tres áreas de producción, durante los años 2019, 2020 y 2021.

Encontramos que sólo en el año 2019, el Área 1, el Área 2 y el Área 3 de producción presentaron un índice OEE promedio igual (véase Tabla 4); a diferencia de los años 2020 y 2021 en donde el índice OEE promedio es diferente para el Área 1, el Área 2 y el Área 3 de producción (véanse tablas 5 y 6).

Tabla 4. Índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) 2019

2019	OEE Promedio (%)	Desviación Estándar	Tamaño de la muestra	F
Área 1	65.58	3.86	12	1.60
Área 2	71.94	6.33	12	
Área 3	73.49	7.28	12	

Nota: $\alpha=0.05$.

Tabla 5. Índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) 2020

2020	OEE Promedio (%)	Desviación Estándar	Tamaño de la muestra	F
Área 1	60.86	2.86	12	13.46
Área 2	78.64	5.36	12	
Área 3	76.86	5.75	12	

Nota: $\alpha=0.05$.

Tabla 6. Índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) 2021

2021	OEE Promedio (%)	Desviación Estándar	Tamaño de la muestra	F
Área 1	60.52	3.78	12	41.19
Área 2	83.01	2.03	12	
Área 3	73.25	3.45	12	

Nota: $\alpha=0.05$.

Segunda etapa

H2: El índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) promedio, es igual al interior de cada una de las tres áreas de producción, durante los años 2019, 2020 y 2021.

Con los resultados de las tablas 7, 8 y 9, observamos que al interior de cada una de las áreas de producción (Área 1, Área 2 y Área 3) el índice OEE promedio es igual durante 2019, 2020 y 2021.

Tabla 7. Índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) en el Área 1

Área 1	OEE Promedio (%)	Desviación Estándar	Tamaño de la muestra	F
2019	65.58	3.86	12	2.10
2020	60.86	2.86	12	
2021	60.52	3.78	12	

Nota: $\alpha=0.05$.

Tabla 8. Índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) en el Área 2

Área 2	OEE Promedio (%)	Desviación Estándar	Tamaño de la muestra	F
2019	71.94	6.33	12	4.19
2020	78.64	5.36	12	
2021	83.01	2.03	12	

Nota: $\alpha=0.05$.

Tabla 9. Índice de Efectividad General de los Equipos (OEE) en el Área 3

Área 3	OEE Promedio (%)	Desviación Estándar	Tamaño de la muestra	F
2019	73.49	7.28	12	0.41
2020	76.86	5.75	12	
2021	73.25	3.45	12	

Nota: $\alpha=0.05$.

Conclusiones

Con la información que se obtuvo de la prueba empírica, nos percatamos de que el índice OEE es una métrica con la que se puede evaluar la eficiencia y tomar decisiones en una organización, como fue el caso de este estudio que se llevó a cabo en una industria del sector alimentario, ubicada en el estado de San Luis Potosí, México. Aquí se identifican áreas de oportunidad para mejorar, como es favorecer el trabajo en equipo al interior de la organización, debido a que sólo

en el 2019 el índice OEE promedio fue igual para las tres áreas; sin embargo, es necesario señalar que al interior de cada una de las áreas de producción los resultados fueron consistentes al no presentarse diferencias en el índice OEE promedio, por lo que el trabajo colaborativo que hay dentro de cada una de las áreas de producción se debe hacer extensivo a toda la planta de producción. Para ello, se debe fortalecer la fase inicial en la implementación de herramientas que contribuyan a la mejora continua; llevar a cabo programas de capacitación e incentivos para el desarrollo y la motivación del capital humano involucrado; crear equipos multifuncionales; consolidar una cultura de innovación propia; invertir en infraestructura; acceder a nuevas tecnologías; atraer capitales extranjeros y crear redes para alcanzar a las economías de escala, con el propósito de alcanzar los estándares de las organizaciones de clase mundial.

Lista de referencias

- Arnau, J., y Bono, R. (2008). Estudios longitudinales. Modelos de diseño y análisis. *Escritos de Psicología*, 2(1), 32-41.
- Arrieta, J. G. (2002). La administración de operaciones y su papel central dentro de toda organización. *Revista Universidad EAFIT*, 127, 19-27.
- Bassols, Á. (1995). *Geografía económica de México* (7a. ed.). Trillas.
- Binti, N. A., Garza-Reyes, J. A., Kumar, V., Antony, J. y Rocha-Lona, L. (2016). An analysis of managerial factors affecting the implementation and use of overall equipment effectiveness. *International Journal of Production Research*, 54(15), 4430-4447. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055849>
- Busso, C. M., y Ikuo, D. (2013). An analysis of the application of indicators alternative to overall equipment effectiveness (OEE) in the management of a plant's overall performance. *Production*, 23(2), 205-225. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S0103-65132012005000068>
- Canahua, N. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Industrial Data*, 24(1), 49-76. Recuperado de <https://doi.org/10.15381/idata.v24i1.18402>
- Consuegra Díaz, F., Díaz Concepción, A., Cruz Bayo, A., Benítez Montalvo, R., Castillo Serpa, A., y Rodríguez Piñeiro, A. J. (2017). Diseño del método de

- disponibilidad Dupont como soporte a la toma de decisiones en el mantenimiento. *Ingeniería Mecánica*, 20(3), 122-128. Recuperado de <http://www.ingenieriamecanica.cujae.edu.cu>
- Dadashnejad, A.-A., y Valmohammadi, C. (2019). Investigating the effect of value stream mapping on overall equipment effectiveness: a case study. *Total Quality Management*, 30(3-4), 466-482. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/14783363.2017.1308821>
- DataMéxico. (2022). *Industria Alimentaria en México*. Recuperado de <https://Datamexico.Org/Es/Profile/Industry/Food-Manufacturing>.
- Díaz Contreras, C. A., Catari Vargas, D. A., Murga Villanueva, C. D. J., Díaz Vidal, G. A., y Quezada Lara, V. F. (2020). Efectividad general de equipos (OEE) ajustado por costos. *Interciencia*, 45(3), 158-163. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33962773006>
- Diéguez, M. (2000). Formación en la industria alimentaria: su importancia para la competitividad de las empresas. *Ciencia Tecnología Alimentaria*, 2(5), 253-264.
- ECONOMEX (2022). ECONOMEX. Recuperado de <https://economex.blog/2022/02/27/radiografia-de-la-industria-manufacturera-en-2021-y-retos-2022/>.
- Fabián, E., Escobar, A., Hamdan, J., y Hernández, E. (2001). *Geografía económica*. McGraw Hill.
- FAO (2004). *Calidad y competitividad de la agroindustria rural de América Latina y el Caribe. Uso eficiente y sostenible de la energía*.
- FAO (2019). *El sistema alimentario en México. Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*. Recuperado de <http://www.wipo.int/amc/en/>
- Gandhi, D. N., y Deshpande, V. (2018). A review of TPM to implement OEE technique in manufacturing industry. *Industrial Engineering Journal*, XI(6), 36-46.
- Garza, J. de la, Morales, B., y González, B. (2013). *Análisis estadístico multivariante. Un enfoque práctico*. Mc Graw Hill.
- Gupta, P. y Vardhan, S. (2016). Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: A case study. *International Journal of Production Research*, 54(10), 2976-2988. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1145817>

- Jiménez León, F. G. (2020). Administración de operaciones: Análisis de las estrategias de operaciones en las empresas como elemento clave para la competitividad. *Polo Del Conocimiento*, 5(10), 551-559.
- Lind, D., Mason, R. y Marchal, W. (2001). *Estadística para Administración y Economía* (3ª. ed.). McGraw Hill.
- Manterola, C., Quiroz, G., Salazar, P., y García, N. (2019). Metodología de los tipos y diseños de estudio más frecuentemente utilizados en investigación clínica. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 30(1), 36-49. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2018.11.005>
- Méndez, J. (2004). *Problemas económicos de México* (5ª. ed.). McGraw Hill.
- Morales González, Á., Rojas Ramírez, J., Hernández Simón, L. M., Morales Varela, A., Rodríguez Sánchez, S. V., y Pérez Rojas, A. (2013). Modelación de la cadena de suministro evaluada con el paradigma de manufactura esbelta utilizando simulación. *Científica*, 17(3), 133-142.
- Muchiri, P. y Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, 46(13), 3517-3535. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00207540601142645>
- Secretaría de Desarrollo Económico (2020). *Perfiles industriales del Estado de San Luis Potosí 2020*. Recuperado de <http://sdeslp.gob.mx/Documentos%20Web/SLPENDATOS/Perfiles%20Industriales%202020.pdf>
- Silva, D. M. y Oliveira, H. M. (2020). Application of the OEE tool as a proposed increase in productivity in grain drying systems. *Gestão & Produção*, 27(4), 1-18. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/0104-530X4964-20>
- Torres, F., Trápaga, Y., Gasca, J., Rodríguez, S., Rodríguez, D., Oseguera, D., Merino, A., Chías, L., Aguirre, J., Escobar, M., Pascual, P., Gastelum, J., Espinoza, J. y Castro, I. (1997). *Dinámica económica de la industria alimentaria y patrón de consumo en México*. Instituto de Investigaciones Económicas-UNAM. Recuperado de <http://ru.iiec.unam.mx/1981/1/23DinamicaEconomica.pdf>
- Ugalde, N. y Balbastre, F. (2013). Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: Buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. *Ciencias Económicas*, 31(2), 179-187.
- Valderrama, A., Neme, O. y Ríos, H. (2015). Eficiencia técnica en la industria manufacturera en México. *Investigación Económica*, LXXIV(294), 73-100.

Capítulo 5. Inteligencia empresarial y políticas públicas en ciudades inteligentes

Julio César Guzmán Echeverría[∗]
Gabriela Citlalli López Torres[∗]
Francisco Javier Álvarez Torres^{∗∗}

Introducción

El desarrollo urbano y el crecimiento poblacional han llevado a las ciudades a enfrentar nuevos retos en materia económica, social y ambiental. En un contexto en donde 55% de la población mundial vive en ciudades y que, de acuerdo con cifras del Banco Mundial, para el 2050 “la población urbana se duplicará, y casi 7 de cada 10 personas vivirán en ciudades” (Banco Mundial, s/f, párr. 1). Según el reporte “World Urbanization Prospects 2018”, América del Norte y América Latina y el Caribe cuentan con 82% y 81% de personas viviendo en zonas urbanas (ONU, 2019, párr. 21).

* Universidad Autónoma de Aguascalientes, Departamento de Recursos Humanos, gabriela.lopez@edu.uaa.mx.

** Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas, fjalvarez@ugto.mx.

Aun cuando el crecimiento de las ciudades es inminente, Yigitcanlar *et al.* (2018) y Lazaroiu y Roscia (2012) señalan que las ciudades a nivel mundial representan sólo 2% del espacio geográfico, pero consumen más de 75% de la producción y generan 80% de gases de efecto invernadero. Debido a esta situación, se ha acrecentado el interés en el estudio y desarrollo de políticas públicas que tengan efecto en la mejora de vida de los ciudadanos, ya que las ciudades son centros ideales para el comercio, el desarrollo personal y la prestación de servicios que mejoran la calidad de vida de las personas.

Por consiguiente, con el propósito de hacer frente a los desafíos generados por la rápida urbanización, los modelos de ciudades inteligentes han surgido como una alternativa viable en la evolución de las ciudades con enfoque en el desarrollo sustentable. En lo particular, los modelos de ciudades inteligentes propuestos por Giffinger (2007), Lara *et al.* (2016) y Pierce *et al.* (2017) versan sobre la implementación de tecnologías en las ciudades, principalmente en las dimensiones de economía, sociedad, gobernanza, movilidad, medioambiente y vida de los ciudadanos.

En cuanto a la dimensión de movilidad inteligente, entendida como “un término general que se utiliza para denotar los cambios potencialmente disruptivos en el sector del transporte relacionados con la automatización, la digitalización y la economía de plataforma” (Mukhtar-Landgren y Paulsson, 2021, p. 135). Si bien los modelos de ciudades inteligentes mencionados anteriormente presentan un referente de los indicadores que se miden en las ciudades en temas de movilidad inteligente, existe la necesidad de profundizar en las investigaciones respecto a las a la influencia que tiene la movilidad inteligente y las políticas públicas tanto en las empresas como en general, en las ciudades inteligentes.

La investigación respecto a las áreas de movilidad inteligentes y el desarrollo de las políticas públicas, puede servir como referente en la implementación de políticas públicas por parte de gobiernos, así como de la adaptación que han tenido las empresas en la administración de sus operaciones. Es decir, “al diseño, operación y mejoramiento de los sistemas que crean y proporciona los productos y servicios de una empresa” (Chase *et al.*, 2009, p. 5). Lo anterior como una necesidad para hacer frente a los desafíos presentes en las ciudades.

En relación con el proceso de políticas públicas, Torres-Melo y Santander (2013) señalan que la comprensión de las políticas públicas no debe darse sólo desde la acción de gobierno sino como “una estrategia con la cual el gobierno

coordina y articula el comportamiento de los actores a través de un conjunto de sucesivas acciones intencionales, que representan la realización concreta de decisiones en torno a uno o varios objetivos colectivos” (p. 56).

Los actores involucrados en el proceso de políticas públicas son ciudadanos, gobierno, grupos de interés y el sector privado, ya que de acuerdo con Aguilar *et al.* (2012), estos actores participan en la presentación de iniciativas, discusión, análisis, ejecución y evaluación de las políticas públicas. Este proceso de participación en las políticas públicas busca satisfacer las necesidades y generar mejores soluciones, lo que sin duda genera cambios en la sociedad y en el marco regulatorio del sector al que se dirijan las políticas públicas.

Por tanto, de acuerdo con Aguilar *et al.* (2012) y Roth (2019), quienes retoman la clasificación de las políticas públicas de Lowi (1963), existen políticas públicas disruptivas, regulatorias, redistributivas y constituyentes. Las políticas regulatorias son aquellas que crean normas, prohibiciones y leyes que regulan los comportamientos y acciones tanto de la sociedad, particulares, como del sector privado. De ahí que las políticas públicas en temas de movilidad necesariamente generan modificaciones, a las cuales deberán adaptarse individuos y empresa. Siendo las empresas quienes adecuan sus operaciones a las nuevas necesidades y disposiciones en temas de movilidad.

Sin embargo, la movilidad inteligente empresarial y el desarrollo de políticas públicas, de acuerdo con algunos autores como Mukhtar-Landgren y Paulsson (2021), Li *et al.* (2019), Alfeo *et al.* (2018), no sólo se ha generado respecto de la innovación y el desarrollo tecnológico, sino que también se ha tenido en cuenta la sustentabilidad con estrategias respetuosas con el medioambiente a través de la reducción de emisiones, ampliación de la movilidad a sectores menos favorecidos y personas con discapacidad.

Es así que, con el objetivo de generar una mejor comprensión de la relación entre movilidad inteligente empresarial y de las políticas públicas en las ciudades inteligentes, hemos planteado las siguientes interrogantes: ¿Cómo ha influido la movilidad inteligente en la administración de operaciones de las empresas en ciudades inteligentes?, ¿qué métodos se han implementado para el diseño y análisis de políticas públicas de movilidad inteligente?, y ¿en qué áreas de movilidad inteligente se han concentrado las investigaciones y el desarrollo de políticas públicas?

De ahí que la importancia de esta investigación radica en la posibilidad de conocer el desarrollo de políticas públicas y estrategias empresariales para

la adaptación a los nuevos entornos y demandas de la población, que han llevado a las ciudades y empresas a transitar hacia modelos inteligentes y a la adopción de acuerdos internacionales en materia de desarrollo sustentable, como es la Agenda 2030, específicamente en la meta 11.2 que refiere a la adopción de mejores sistemas de transporte (CEPAL, 2018, p. 51).

En suma, en el desarrollo de esta investigación utilizamos la metodología de revisión sistemática de la literatura, la cual consistió en la búsqueda, recolección y análisis de 22 artículos académicos y científicos que contemplaban las variables movilidad inteligente y políticas públicas. Los artículos fueron recuperados de tres bases de datos relevantes, tales como, Emerald, IEE Xplorer y EBSCOhost.

Fundamentación teórica

Aunque el término de ciudades inteligentes ha sido popularizado en las últimas décadas, principalmente a partir del interés de las naciones por consolidar el desarrollo urbano sustentable y el auge de la digitalización, su origen puede ser más antiguo. De acuerdo con Yigitcanlar *et al.* (2018), el término de ciudades inteligentes se acuñó por primera vez a mediados del siglo XIX para describir las ciudades del oeste estadounidense que eran eficientes y autónomas (p. 2), asimismo señalan que a pesar de la larga trayectoria, no existe una única definición aceptada, esto debido a los diferentes modelos de ciudades inteligentes y los elementos que engloban cada una de las definiciones.

Algunos de los teóricos en ciudades inteligentes las definen desde la perspectiva de desarrollo tecnológico, tal es el caso de Pierce *et al.*, quienes señalan que una ciudad inteligente “implica la explotación de altas tecnologías, y en particular las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), para mejorar la resiliencia de la ciudad y la calidad de vida, junto con su sostenibilidad económica, social y ambiental” (2017, p. 2); a este enfoque se suman las propuestas de Costa *et al.* (2017) y Lara *et al.* (2016) con el uso de las tecnologías, pero con una perspectiva en el desarrollo humano y con enfoque en el empoderamiento de los ciudadanos a través de las TIC.

Al mismo tiempo, el desarrollo conceptual de las ciudades inteligentes ha sido acompañado de la creación de modelos e índices que buscan medir el grado de inteligencia de las ciudades. Uno de los principales modelos que ha

sido referencia para la creación de nuevos indicadores es el modelo de Giffinger (2007), en el cual se plantean seis dimensiones de análisis: 1) economía inteligente, 2) sociedad inteligente, 3) gobernanza inteligente, 4) movilidad inteligente, 5) medioambiente inteligente y 6) vida inteligente (2007, p. 11).

Entre los modelos que contemplan la movilidad inteligente como parte de las dimensiones de una ciudad inteligente, se encuentran el de la ITU-T SG20 (2017), con la infraestructura de transporte, Berrone y Ricart (2020) con el IESE Cities in Motion, contemplando la dimensión de movilidad y transporte, analizando indicadores como la longitud de cobertura de la red de transporte, el índice de tiempo de viaje y la proporción de paradas con información en tiempo real. El IMD (2019) en el Smart Cities Index, analiza la movilidad mediante percepción de los ciudadanos en temas congestión del tráfico, satisfacción del transporte público, aplicaciones digitales para la contratación de servicios de autos compartidos, red de ciclovías, entre otros.

De igual forma, existen normas estandarizadas como las ISO referentes al tema de sustentabilidad, calidad de vida en la oferta de servicios, e indicadores de ciudades inteligentes, como son las normas ISO 37120, ISO 37101 e ISO 37122, respectivamente. En ellas se aborda el tema de movilidad a través de los indicadores de porcentaje de alertas de tráfico, el número de vehículos autónomos y de bajas emisiones, número de usuarios de transporte público, número de bicicletas y kilómetros de ciclovías, porcentaje de estacionamientos, porcentaje de luces de tráfico que son inteligentes, entre otros indicadores, que aportan información importante para el desarrollo de investigación y la creación de políticas públicas en temas de sustentabilidad y movilidad inteligente.

Asimismo, es importante señalar que el desarrollo tecnológico en las ciudades brinda oportunidades para la solución de problemas, en el informe *A Smarter Planet: The Next Leadership Agenda*, de la empresa IBM, señala que el mundo se está volviendo más inteligente ante la tecnología con la que contamos, “pero hay otra razón por la que haremos que nuestras empresas, instituciones e industrias sean más inteligentes, porque debemos hacerlo. No sólo en momentos de conmoción generalizada y crisis global, sino integrados en nuestras operaciones diarias” (Palmisano, 2008, p. 3).

En el mismo informe, Palmisano (2008) señala que 45% del tráfico en las ciudades es provocado por autos que dan vuelta buscando un lugar de estacionamiento, situación que podría ser disminuida si las empresas e instituciones públicas diseñan estrategias a través de la incorporación de tecnologías. Sobre

los casos de éxito, presenta el sistema de tráfico inteligente en Estocolmo, el cual ha resultado en “un 20% menos de tráfico, una reducción del 12% en las emisiones y 40 000 usuarios diarios adicionales de transporte público”(Palmisano, 2008, p. 4).

Son diversos los beneficios que pueden aportar el desarrollo de la inteligencia en las empresas e instituciones, de acuerdo con Zaheer y Dhunny (2019) y Osman (2019), las tecnologías de análisis y procesamiento de información, así como infraestructura tecnológica brindan soluciones a problemas de servicios de transporte, control del tráfico, sistemas médicos, electricidad, educación, entre otros. Lo anterior, permite a los gobiernos y empresas disponer de información para la toma de decisiones, así como el uso de inteligencia artificial que brinde respuesta de forma oportuna.

Estos avances en el plano del desarrollo empresarial y políticas públicas han sido también direccionados por el desarrollo sustentable, el cual se define como “el desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro de satisfacer sus propias necesidades”(Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1987, p. 23). Su aplicación por parte de las naciones pertenecientes a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se ha conducido principalmente por acuerdos internacionales como la Agenda 2030, la cual plantea 17 objetivos de desarrollo sustentable (ODS), así como el seguimiento de ellos a través de 169 indicadores.

Al respecto, Miola y Schiltz (2019) refieren que el problema para el cumplimiento de los ODS radica en la dificultad de su medición, además de la falta de homogeneidad en los indicadores, ya que algunos de ellos no están definidos en términos cuantitativos. Por lo que las naciones, empresas privadas y grupos de interés han aplicado sus propias metodologías para medir estos indicadores, dando como resultado una falta de estandarización en su evaluación y aplicación.

Respecto a la dimensión de movilidad inteligente y su relación con el desarrollo sustentable, encontramos que pueden influir en varios ODS, pero principalmente en el ODS 11, el cual plantea que las ciudades y los asentamientos humanos sean más inclusivos, resilientes y sostenibles. En particular, la meta 11.2 plantea que, “de aquí a 2030, proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros, asequibles, accesibles y sostenibles para todos y mejorar

la seguridad vial, en particular mediante la ampliación del transporte público [...]” (CEPAL, 2018, p. 51).

Para la materialización de estos acuerdos no sólo es importante el compromiso de los gobiernos y empresas, sino también de la implementación de políticas públicas que vayan en relación con la mejora en la calidad de vida de los ciudadanos, así como de estrategias por parte de las empresas que incidan en el desarrollo de sus operaciones para la adaptación de sus productos y servicios a la demanda de la población y a las necesidades de un futuro sustentable.

Políticas públicas

El análisis de las políticas públicas, disciplina perteneciente a las ciencias políticas, de acuerdo con Harguindeguy (2015) nace en Estados Unidos, en la década de 1950, con el postulado de Harold Laswell sobre el ciclo de las políticas públicas, conocido como un conjunto de etapas que pretenden dividir el estudio de las políticas públicas para dar mayor comprensión y precisión de ellas. En este ciclo se establecen cinco etapas: 1) definición del problema, 2) puesta en la agenda, 3) toma de decisiones, 4) implementación y 5) evaluación (Harguindeguy, 2015, p. 19).

Este proceso de análisis de políticas públicas ha sido debatido al considerarse una visión simplista, ya que el proceso de políticas públicas no necesariamente atiende a un comportamiento cíclico, además que son varios los actores e intereses que intervienen en todas las etapas de las políticas públicas, desde la agenda. Se entiende por agenda al conjunto de demandas presentadas en la esfera pública por parte de ciudadanos, grupos de interés, partidos políticos, asociaciones civiles, empresas privadas, entre diversos actores con interés en el desarrollo de soluciones mediante la acción del gobierno.

Aguilar Villanueva señala que una política pública no es una acción singular, sino un conjunto de acciones ordenadas y definidas bajo un objetivo, las cuales pueden ser comprendidas por cinco elementos estructurales: 1) un conjunto (secuencia, sistema, ciclo) de acciones, estructuradas en modo intencional y causal, que se orientan a realizar objetivos considerados de valor para la sociedad o a resolver problemas cuya solución es considerada de interés o beneficio público; 2) acciones cuya intencionalidad y causalidad han sido definidas por la interlocución que ha tenido lugar entre el gobierno y los sectores

de la ciudadanía; 3) acciones que han sido decididas por autoridades públicas legítimas; 4) acciones que son ejecutadas por actores gubernamentales o por estos en asociación con actores sociales (económicos y civiles); y 5) que dan origen o forman un patrón de comportamiento del gobierno y de la sociedad (Aguilar Villanueva, 2009, p. 14).

Es así como las políticas públicas son más que un proyecto o un programa, ya que su alcance es más duradero y sus efectos pueden abarcar diversos ámbitos. Respecto a la clasificación de las políticas públicas, Theodore Lewi (1986) citado por Harguindeguy (2015) clasifica a las políticas de acuerdo al grado de coerción, resultando en cuatro tipos: 1) políticas disruptivas, 2) políticas reglamentarias, 3) políticas constitutivas y 4) políticas redistributivas.

Sobre las políticas disruptivas, Harguindeguy (2015) señala que son políticas que otorgan permisos, mientras que las políticas reglamentarias son políticas coercitivas que se ejercen en la población objetivo por medio de la legislación. Las políticas constitutivas son la creación de reglamentos o cualquier otra disposición constitucional, y finalmente las políticas redistributivas son las que distribuyen los recursos públicos en las áreas previamente definidas.

Aunque la clasificación anterior refiere al grado de coerción de las políticas, nos ayuda a delimitar nuestro estudio, ya que en este capítulo nos centraremos en el análisis de las políticas redistributivas y regulatorias, aquellas con inversión pública en algún sector prioritario, en este caso el sector de movilidad y transporte, así como de las políticas que generan cambios en las normas y reglamentos.

Movilidad inteligente y administración de operaciones

La movilidad inteligente es un “un término general que se utiliza para denotar los cambios potencialmente disruptivos en el sector del transporte relacionados con la automatización, la digitalización y la economía de plataforma” (Mukhtar-Landgren y Paulsson, 2021, p. 135). La dimensión de movilidad inteligente ha permeado tanto a la esfera pública como privada, a través de la generación de vehículos automatizados, medios de transporte más eficientes y amigables con el medioambiente, así como el desarrollo de infraestructura de transporte.

Docherty (2020) señala que “los beneficios de la movilidad inteligente, combinados con inteligencia artificial para la reducción de la contaminación,

sólo pueden generarse si van de la mano con una buena gestión de las tecnologías, los proveedores y los usuarios” (p. 58). Esta gestión tanto de organizaciones públicas como privadas se vuelve una realidad a través de la evolución tanto de las políticas públicas como de las operaciones de las empresas privadas para la oferta de productos y servicios con efecto en movilidad inteligente.

En su estudio sobre la administración de operaciones y su impacto en el desempeño de las empresas, Montejano-García *et al.* (2021) señalan que existe un acuerdo en la revisión de la literatura respecto a la administración de operaciones como “el conjunto de técnicas que se aplican directamente a los procesos de producción durante la realización de cada una de sus etapas, desde el momento en que se obtiene información para determinar las necesidades del cliente, hasta la entrega de bienes y servicios realizados en condiciones previstas a los mismo” (2021, p. 115).

Adicional a ello, la implementación de tecnologías en las ciudades inteligentes permite a las empresas y gobierno disponer de información sobre los usuarios, para poder mejorar su oferta de bienes y servicios, además que las herramientas tecnológicas como la modelización de los procesos son parte importante en el desarrollo de proyectos y políticas públicas de movilidad, que puedan garantizar la efectividad, así como aumentar la posibilidad de éxito.

El uso de inteligencia artificial, la administración e investigación de operaciones en el sector de movilidad inteligente, puede generar resultados, como el cálculo de la mejor ruta, la optimización de los tiempos mediante el control de tráfico en semáforos, así como la creación y diseño de nuevos medios de comunicación que logren la eficiencia en el transporte y que garanticen la satisfacción de las demandas de los ciudadanos, por medio de un enfoque más sustentable.

Metodología

En este capítulo se ha utilizado el enfoque cualitativo de revisión sistemática de la literatura, por medio de la búsqueda avanzada de artículos académicos y científicos de las variables movilidad inteligente y políticas públicas en las siguientes bases de datos: Emerald, IEE Xplorer y EBSCOhost. Para la selección de las bases de datos se tomó el criterio de relevancia científica y orientación al campo de estudio. En el análisis de los artículos se siguió la metodología empleada por

Lopez-Torres *et al.* (2021) y Chercione (2016) a través de dos fases principales: análisis de descriptivo y análisis de contenido.

Selección de los artículos

Para la obtención de los artículos se diseñó una estrategia de búsqueda avanzada: “Smart mobility” AND (public policy), filtrando estas palabras clave sólo para los títulos, limitando la búsqueda a los idioma inglés y español, así como sólo aquellos documentos con permisos de acceso abierto y con una delimitación en tiempo de 2015 a 2022. De esta búsqueda obtuvimos 44 resultados, de los cuales 26 fueron de Emerald y nueve en cada base de datos de EBSCOhost y Emerald. Una vez que depuramos los artículos duplicados y accedimos a aquellos documentos que era posible descargar y leer de forma completa obtuvimos 27 artículos.

El siguiente paso en la metodología consistió en la lectura de los resúmenes de cada uno de los 27 artículos para su clasificación en cuatro categorías (A, B, C y D), como se observa en la Tabla 1; una vez clasificados procedimos a la lectura a detalle de aquellos pertenecientes a las categorías A y B con la finalidad de dar respuesta a nuestras preguntas de investigación.

Análisis descriptivo

En esta sección se presenta el análisis de 22 artículos pertenecientes a las categorías A y B, con respecto a la inclusión de los términos de movilidad inteligente y políticas públicas, así como aquellos con mayor predominancia en movilidad inteligente, pero con menor referencia en políticas públicas. Para ello se examinaron los siguientes aspectos:

- Distribución por año.
- Distribución por revista.
- Distribución por metodología.

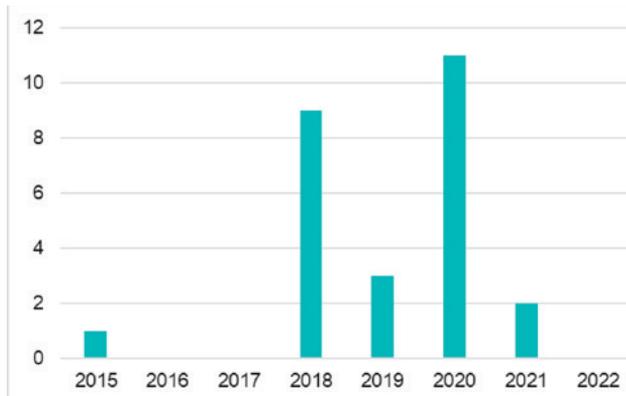
Tabla 1. Criterios de inclusión y exclusión de artículos

<i>Categoría</i>	<i>Descripción</i>	<i>Núm. de artículos</i>
A	Artículos con un enfoque predominante en <i>movilidad inteligente y políticas públicas</i> .	9
B	Artículos con un enfoque dominante en <i>movilidad inteligente</i> , pero con un menor o insignificante referencia de <i>políticas públicas</i> .	13
C	Artículos con un enfoque dominante en <i>políticas públicas</i> , pero con un menor o insignificante referencia en <i>movilidad inteligente</i> .	1
D	Artículos con menor o insignificante referencia en <i>movilidad inteligente y políticas públicas</i> .	4
<i>Total</i>		27

Fuente: elaboración propia.

Para el análisis a profundidad de los textos decidimos seleccionar sólo aquellos pertenecientes a las categorías A y B, ya que estas categorías contemplan las variables de *movilidad inteligente* y *políticas públicas*, obteniendo como resultado la lectura completa de 22 artículos. En la distribución de los artículos por año, de acuerdo con la información observada en la Gráfica 1, encontramos que la mayor proporción de artículos referentes a *movilidad inteligente* y *políticas públicas* son del año 2020 con once artículos y nueve para el 2018, en el periodo de búsqueda seleccionado, no se encontraron resultados para los años 2016, 2017 y 2022.

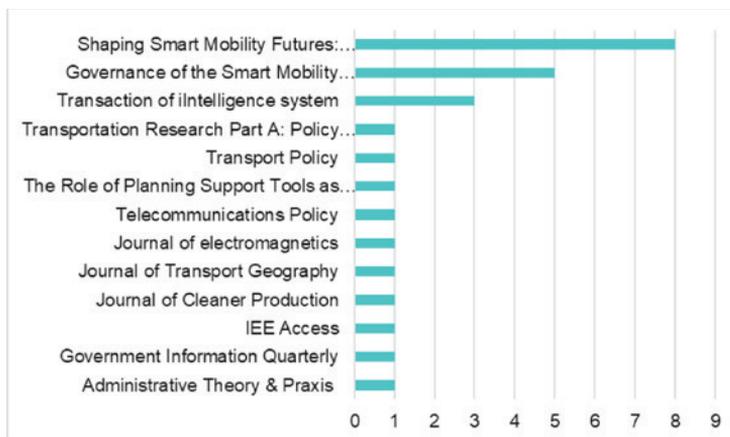
Gráfica 1. Distribución de artículos por año



Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la distribución por revista, en la Gráfica 2, encontramos que la mayor proporción de artículos corresponden a la revista *Shaping Smart Mobility Futures: Governance and Policy Instruments in Times of Sustainability Transitions*, con ocho resultados, y en segundo lugar *Governance of the Smart Mobility Transition*, con cinco resultados.

Gráfica 2. Distribución de artículos por revista



Fuente: elaboración propia.

Análisis de contenido

Movilidad inteligente y administraciones de operaciones en las empresas en ciudades inteligentes

Los cambios en la administración de operaciones dentro de las empresas privadas son necesarios, debido a las nuevas dinámicas que se están gestando en el orden de la movilidad inteligente. Ejemplo de estas modificaciones se observan en Gutiérrez *et al.* (2020), quienes presentan el estudio de caso del transporte en Tarragona, España, donde fue necesario un rediseño en los procesos del sistema de transporte para poder concentrar todos los pagos y servicios del transporte público por medio de un sistema único. Además de que dicho rediseño permita a los turistas la selección en el mejor medio de transporte, tomando como referencia criterios como el tiempo de traslado, precio y horarios.

Otro de los ejemplos sobre cambios en los procesos de gestión de la movilidad inteligente, es el planteamiento de Alfeo *et al.* (2018) sobre la necesidad de la incorporación de un algoritmo de minería de datos, el cual garantiza a las empresas de movilidad “identificar patrones, detectar irregularidades de comportamiento y comparar entre diferentes fenómenos de tráfico” (p. 2). No sólo se ha generado un cambio en la forma de administrar sus procesos, sino que también, de acuerdo con Marsden y Reardon (2018), existe un cambio en la visión de las empresas de transporte, transitando de un sistema de movilidad individualizado, hacia un futuro más limpio, eficiente e inclusivo.

Siendo más específicos respecto a las ciudades inteligentes y los proyectos de desarrollo empresarial en tema de movilidad inteligente, Davis (2018) analiza los casos de las ciudades de San Francisco y Estocolmo, en las cuales se ha generado una regulación por parte del gobierno ante los cambios en la oferta de servicios de empresas privadas. En la ciudad de San Francisco analiza la proliferación de los sistemas de viajes compartidos como Uber y Lyft, y en la ciudad de Estocolmo analiza el sistema unificado de cobro y el monitorio por tecnología de vigilancia. En ambos casos el éxito se logró bajo una mejor coordinación de la acción gubernamental y la iniciativa privada.

De forma similar, Docherty (2020) analiza la adaptación de las operaciones a la movilidad inteligente a través del enfoque de Management Level Governance, mediante el cual se busca conocer como deberán funcionar los sistemas para que se logre una alineación en una estrategia y objetivo común

con las políticas públicas y los diversos actores como las empresas de movilidad, para que ambos caminen bajo una estrategia y objetivo común.

Métodos para el análisis de políticas públicas de movilidad inteligente

Entre los instrumentos para el análisis de políticas públicas y prácticas administrativas encontramos la propuesta de Mukhtar-Landgren y Paulsson (2021), quienes analizan cuatro categorías: 1) Pilotos, el cual consiste en el diseño y puesta en marcha de proyectos, 2) Estándares, sobre los cuales se evaluará la política, 3) Escenarios, que se refiere a considerar los efectos y la reacción de la población y 4) Colaboración, que se refiere a analizar las posibles relaciones entre las diferentes partes interesadas.

Asimismo, Hopkins y Schwanen (2018) proponen el análisis y desarrollo de políticas a través del enfoque de Transition Management, el cual consiste en conocer e identificar mejor los procesos de transición para poderlos gestionar, esto a través de la presentación de las propuestas y puesta en marcha en contextos controlados para experimentar sus efectos y posteriormente poder aplicarlos en una escala mayor.

Otro método para el estudio de las políticas de movilidad, es la propuesta el de Li *et al.* (2019) sobre el análisis de movilidad automatizada con enfoque en tres métodos: 1) retrospectivo, con el análisis del futuro de los objetivos, 2) adaptativo dinámico, con la adaptación de la transición de las políticas, 3) transferencia y migración de políticas, que proporciona una visión del proceso de adaptación; con ello busca hacer un recorrido histórico sobre las regulaciones existentes en temas de movilidad de vehículos automatizados.

Finalmente, Stone *et al.* (2020) analizan por medio de encuestas la percepción de directivos de empresas de movilidad respecto a las políticas y nuevos entornos de movilidad inteligente; en su estudio muestran cómo los privados tienen el interés en el desarrollo de políticas públicas con intervención del gobierno, las cuales contribuyan a la creación de infraestructura y eliminen las barreras de monopolios generadas por la automatización de la industria de movilidad.

Áreas de movilidad inteligente

Las áreas de movilidad inteligente en las que se han basado los estudios y el desarrollo de políticas públicas son diversas; para su comprensión. Cledou *et al.* (2018) proponen una taxonomía de los servicios de movilidad inteligente, en la cual resaltan la clasificación de servicios de guía de manejo, mejora de los recursos de transporte, mejora de la infraestructura, planificadoras de viaje, supervisión de tráfico, estacionamiento, pago, transporte compartido y optimización de semáforos.

Con el objetivo de resumir las diferentes propuestas e investigaciones, hemos desarrollado la tabla 2, en la cual se presenta el análisis de los artículos respecto a las áreas de movilidad que abordan. En ella encontramos que la mayoría de las investigaciones se centran en la gobernanza y la legislación por medio de la regulación de los servicios de transporte, la imposición de multas e incentivos económicos. Asimismo, encontramos propuestas sobre el desarrollo de vehículos automatizados que garanticen la movilidad tanto de mercancías como de personas con discapacidad motriz.

Otra de las áreas es la movilidad, como el servicio y analizada por Mukhtar-Landgren y Paulsson (2021) y Pangbourne *et al.* (2018), se plantea la unificación de los servicios de transporte tanto públicos como privados para generar sistemas de cobro, gestión de reservas y datos sobre los usuarios y sus preferencias, así como de patrones y perfiles de los usuarios. Por otra parte, es importante mencionar que no todas las investigaciones versan sobre el desarrollo de vehículos particulares y de transporte público, ya que Cerutti *et al.* (2019) y Gironés y Vrščaj (2018) proponen el desarrollo y legislación sobre transportes autónomos de baja contaminación como bicicletas y *scooter* eléctricos.

Tabla 2. Áreas de movilidad inteligente comprendidas en la revisión

<i>Área de movilidad inteligente</i>	<i>Descripción</i>	<i>Fuente</i>
Generación de datos	Generación de datos de usuarios del transporte, algoritmo y minería de datos de los servicios de transporte.	Gutiérrez <i>et al.</i> (2020) Alfeo <i>et al.</i> (2018)
Infraestructura	Diseño de infraestructura de comunicaciones, telecomunicaciones y servicios de movilidad.	Okyere <i>et al.</i> (2018) Davis (2018)
Vehículos automatizados	Desarrollo de vehículos con conducción autónoma.	Mukhtar-Landgren y Paulsson (2021) Li <i>et al.</i> (2019) Dowling (2018)
Vehículos compartidos	Sistema de plataformas para la contratación de vehículos con o sin chofer.	Davis (2018)
Movilidad como servicio	Rediseño a través de unificación de servicios en plataformas con cobro, reserva y seguimiento de tarifas por GPS.	Mukhtar-Landgren y Paulsson (2021) Pangbourne <i>et al.</i> (2018)
Gobernanza y legislación	Legislación en materia de movilidad inteligente para la regulación de servicios, tarifas, licencias, permisos, incentivos financieros, entre otros.	Docherty (2020) Kronsell y Mukhtar-Landgren (2020) Marsden y Reardon, (2018) Hopkins y Schwanen (2018) Stone <i>et al.</i> (2020) Docherty (2018) Paulsson y Sørensen, (2020)
Sistema de transporte no motorizado	Desarrollo y uso de sistemas de transporte individual no motorizado como bicicletas, patines eléctricos, entre otros.	Cerutti <i>et al.</i> (2019) Gironés y Vrščaj (2018)
Sistemas de estacionamiento inteligente	Desarrollo de aplicaciones para informar a los usuarios sobre las plazas de estacionamiento para evitar el congestionamiento y la pérdida de tiempo y combustible en la búsqueda de lugares de estacionamiento.	Jioudi <i>et al.</i> (2019)

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Este artículo ofrece una revisión sistemática de la literatura sobre las variables movilidad inteligente empresarial y políticas públicas, dada la relevancia a nivel internacional que ha generado el desarrollo de ciudades inteligentes a través de políticas públicas y procesos que inciden en una movilidad más limpia, inclusiva, con implementación de nuevas tecnologías y con valor para la sociedad.

El interés por parte de gobiernos y empresas por el desarrollo de la movilidad inteligente se ha generado no sólo por la búsqueda de innovación, competitividad y la incorporación de tecnologías en la oferta de sus productos y servicios, sino que también ha influido el marco regulatorio internacional, por ejemplo la Agenda 2030 y en específico la meta 11.2 sobre el desarrollo de sistemas seguros, sostenibles y asequibles para la población.

Del mismo modo, los índices de Cities in Motion Berrone & Ricart (2020), el Smart Cities Index IMD (2021) y las normas ISO 37122, presentan un conjunto de indicadores respecto a la movilidad inteligente que, para cumplirse, son necesarias modificaciones. De acuerdo con Palmisano (2008), estas deben efectuarse no sólo en momentos de conmoción, sino como parte de las operaciones diarias de empresas, gobierno y sociedad.

Por tanto, con el objetivo de ampliar el conocimiento respecto a la movilidad inteligente, en este estudio se analizaron los cambios que ha tenido la dimensión de movilidad inteligente en la administración de operaciones en las empresas, los métodos para el análisis de política pública de movilidad y, finalmente, las áreas de movilidad en las que se centran los estudios.

Con respecto los cambios que ha tenido la movilidad inteligente en los procesos de las empresas, encontramos los estudios como se ha gestado el rediseño del sistema de transporte en un sistema unificado, la incorporación de tecnologías y análisis de datos a través de minería de datos para una mejor disposición de información y toma de decisiones oportunas por parte de empresas y gobiernos, el uso de inteligencia artificial para facilitar los procesos y, finalmente, el cambio en la visión de las empresas y gobiernos respecto a generar sistemas de movilidad más eficientes, menos contaminantes y con enfoque en las personas.

En relación con los métodos para el análisis de políticas públicas encontramos diversas propuestas, como el análisis de políticas públicas y su

experimentación a través de ejercicios pilotos que permiten probar su eficiencia para poderlas replicar en contexto de mayor tamaño. El análisis retrospectivo, adaptativo y dinámico para conocer el futuro de los objetivos de las políticas públicas, su adaptación a los contextos. También encontramos estudios que miden el efecto de las políticas públicas mediante la percepción de directivos de empresas privadas, quienes manifiestan la necesidad de generar políticas públicas que logren romper las barreras de monopolio en el sector movilidad inteligente.

Finalmente, en los estudios encontramos que las áreas de movilidad en la cual se centran son: generación de datos sobre los servicios de transporte y los usuarios, el desarrollo de infraestructura, vehículos automatizados, movilidad como servicio, gobernanza y legislación, sistemas de transporte no motorizados y sistemas de estacionamiento inteligente. La mayor influencia de estos estudios se encuentra respecto a la gobernanza y la legislación tanto a los servicios, empresas y usuarios del sector de transporte.

Por tanto, este estudio presenta un esquema general de las políticas públicas y procesos empresariales con relación directa en la dimensión de movilidad inteligente, así como las principales acciones y áreas de estudio. Las limitaciones de este estudio son en relación con el análisis a profundidad del rediseño interno que han tenido las empresas de movilidad como parte de adaptación a los nuevos entornos tecnológicos y de automatización generados por las ciudades inteligentes y específicamente por la movilidad inteligente y el desarrollo de políticas públicas en esta área.

Lista de referencias

- Aguilar, L. F., DeLeon, P., Lindblom, C. E., Majone, G., Méndez, J. L. y Canto Sáenz, R. (2012). *Política pública*. Recuperado de http://data.evalua.cdmx.gob.mx/docs/estudios/i_pp_eap.pdf
- Aguilar Villanueva, F. (2009). Marco para el análisis de políticas públicas. En *Política pública y democracia en América Latina: del análisis a la implementación* (pp. 11-51). México: Miguel Ángel Porrúa. recuperdo de <https://doi.org/976-607-401-072>.
- Alfeo, A. L., Cimino, M. G. C. A., Egidi, S., Lepri, B. y Vaglini, G. (2018). A Stigmergy-Based Analysis of City Hotspots to Discover Trends and

- Anomalies in Urban Transportation Usage. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 19(7), 2258-2267. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2817558>
- Banco Mundial (s/f). *Desarrollo Urbano*. Desarrollo Urbano. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=Hoy en día%2C alrededor de 10 personas vivirán en ciudades.> [Consulta: 31 de agosto de 2021].
- Berrone, P. y Ricart, J. E. (2020). *Índice IESE Cities in Motion*. Recuperado de <https://doi.org/doi:https://dx.doi.org/10.15581/018.ST-542>
- CEPAL (2018). La Agenda 2030 y sus Objetivos de Desarrollo Sostenible. En *Revista de Derecho Ambiental*, 10. Recuperado de <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2018.52077>
- Cerutti, P. S., Martins, R. D., Macke, J. y Sarate, J. A. R. (2019). Green, but not as green as that: An analysis of a Brazilian bike-sharing system. *Journal of Cleaner Production*, 217, 185-193. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.240>
- Chase, R., Jacobs, R. y Aquiliano, N. (2009). Administración de operaciones. En *Gestion-Calidad.com*.
- Cledou, G., Estevez, E. y Soares Barbosa, L. (2018). A taxonomy for planning and designing smart mobility services. *Government Information Quarterly*, 35(1), 61-76. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.giq.2017.11.008>
- Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. *Documentos de las Naciones, Recolección de un...*, 416. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Informe+de+la+comision+mundial+sobre+el+medio+ambiente+y+el+desarrollo.+nuestro+futuro+comun#5>
- Costa, E. M., Oliveira, Á. D., Costa, E. M., Oliveira, Á. D., Frodeman, R., Klein, J. T. y Pacheco, R. C. S. (2017). Humane Smart Cities. *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*, 1-12. Recuperado de <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198733522.013.19>
- Davis, D. E. (2018). Governmental capacity and the smart mobility transition. *Governance of the Smart Mobility Transition*. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/9781787543171>

- Docherty, I. (2018). New governance challenges in the era of smart mobility. *Governance of the Smart Mobility Transition*. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/9781787543171>
- Docherty, I. (2020). Crafting Effective Policy Instruments for “Smart Mobility”: Can Multi-level Governance Deliver? *Shaping Smart Mobility Futures: Governance and Policy Instruments in times of Sustainability Transitions*, 57-73. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-650-420201004>
- Giffinger, R. (2007). Smart cities Ranking of European medium-sized cities. *Research Institute for Housing, Urban and Mobility Services*, 16(octubre), 1-24. Recuperado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026427519800050X>
- Gironés, E. S. y Vrščaj, D. (2018). Who Benefits from Smart Mobility Policies? The Social Construction of Winners and Losers in the Connected Bikes Projects in the Netherlands. *Governance of the Smart Mobility Transition*, 85-101. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/978-1-78754-317-120181006>
- Gutiérrez, A., Domènech, A., Zaragoza, B. y Miravet, D. (2020). Profiling tourists’ use of public transport through smart travel card data. *Journal of Transport Geography*, 88(junio), 102820. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102820>
- Harguindeguy, J.-B. (2015). *Análisis de políticas públicas* (2a. ed.). Difusora Larousse/Editorial Tecnos. Recuperado de <https://elibro.net/es/lc/uaa/titulos/115286>
- Hopkins, D., y Schwanen, T. (2018). Governing the Race to Automation. *Governance of the Smart Mobility Transition*, 65-84. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/978-1-78754-317-120181005>
- IMD (2019). *IMD Smart Cities Index 2019*. 220. Recuperado de <https://www.imd.org/research-knowledge/reports/imd-smart-city-index-2019/>
- IMD (2021). *Smart City Observatory*. Recuperado de <https://www.imd.org/smart-city-observatory/home/>
- Jioudi, B., Sabir, E., Moutaouakkil, F. y Medromi, H. (2019). Congestion awareness meets zone-based pricing policies for efficient urban parking. *IEEE Access*, 7, 161510-161523. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2951674>
- Kronsell, A. y Mukhtar-Landgren, D. (2020). Experimental Governance of Smart Mobility: Some Normative Implications. *Shaping Smart Mobility Futures: Governance and Policy Instruments in times*

- of *Sustainability Transitions*, 119-135. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-650-420201007>
- Lara, A. P., Moreira, E., Costa, D., Furlani, T. Z. y Yigitcanlar, T. (2016). Smartness that matters : towards a comprehensive and human-centred characterisation of smart cities. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. Recuperado de <https://doi.org/10.1186/s40852-016-0034-z>
- Lazaroiu, G. C. y Roscia, M. (2012). Definition methodology for the smart cities model. *Energy*, 47(1), 326-332. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.028>
- Li, S., Sui, P. C., Xiao, J. y Chahine, R. (2019). Policy formulation for highly automated vehicles: Emerging importance, research frontiers and insights. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 124(XXXX), 573-586. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.05.010>
- Lopez-Torres, G. C., Montejano-García, S., Alvarez-Torres, F. J. y Perez-Ramos, M. de J. (2021). Sustainability for competitiveness in firms – a systematic literature review. En *Measuring Business Excellence*. Emerald Group Holdings Ltd. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/MBE-02-2021-0023>
- Lowi, T. (1963). *American business, public policy, case-studies, and political theory*. Winter 1958, 52-59.
- Mariñez Navarro, F. y Garza Cantú, V. (2009). *Política pública y democracia en América Latina: del análisis a la implementación*. México, D. F. Mexico: Editorial Miguel Ángel Porrúa. Recuperado de <https://elibro.net/es/ereader/uaa/38148?page=5>.
- Marsden, G. y Reardon, L. (2018). Does governance matter? An International scenarios exerc. *Governance of the Smart Mobility Transition*, 139-151.
- Montejano García, S., López Torres, G. C., Pérez Ramos, M. de J. y Campos García, R. (2021). Administración de operaciones y su impacto en el desempeño de las empresas. *Revista de Ciencias Sociales*, xxvi(1), 112-126.
- Mukhtar-Landgren, D. y Paulsson, A. (2021). Governing smart mobility: policy instrumentation, technological utopianism, and the administrative quest for knowledge. *Administrative Theory and Praxis*, 43(2), 135-153. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/10841806.2020.1782111>
- Okyere, D. K., Poku-Boansi, M. y Adarkwa, K. K. (2018). Connecting the dots: The nexus between transport and telecommunication in Ghana.

- Telecommunications Policy*, 42(10), 836-844. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2018.07.008>
- ONU (2019). World Urbanization Prospects. En *Demographic Research*. Vol. 12. Recuperado de <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>
- Osman, A. M. S. (2019). A novel big data analytics framework for smart cities. *Future Generation Computer Systems*, 91, 620-633. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.046>
- Palmisano, S. J. (2008). A smarter planet: the next leadership agenda. *IBM*, 6, 1-8. Recuperado de https://www.ibm.com/ibm/cioleadershipexchange/us/en/pdfs/SJP_Smarter_Planet.pdf
- Pangbourne, K., Stead, D. y Mladenović, M. (2018). The case of mobility as a service: a critical reflection on challenges for urban transport and mobility governance. *Governance of the Smart Mobility Transition*, 33-48. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/9781787543171>
- Paulsson, A. y Sørensen, C. H. (2020). Smart Mobility and Policy Instruments: Broadened Definitions and Critical Understandings. *Shaping Smart Mobility Futures: Governance and Policy Instruments in times of Sustainability Transitions*, 1-16. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-650-420201001>
- Pierce, P., Ricciardi, F. y Zardini, A. (2017). Smart cities as organizational fields: A framework for mapping sustainability-enabling configurations. *Sustainability (Switzerland)*, 9(9), 1-21. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/su9091506>
- Roth, Á. (2019). *Enfoques para el análisis de políticas públicas*. M. Editorial. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=Y3wcEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT6&dq=políticas+públicas&ots=-GO5KgGPXFo&sig=Vi74VPiOaoVe8PSfgIyR1AIlo9g#v=onepage&q=políticas+públicas&f=true>
- Stone, J., Ashmore, D., Legacy, C. y Curtis, C. (2020). Challenges for Government as Facilitator and Umpire of Innovation in Urban Transport: The View from Australia. *Shaping Smart Mobility Futures: Governance and Policy Instruments in times of Sustainability Transitions*, 105-118. Recuperado de <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-650-420201006>

- Torres-Melo, J. y Santander, J. (2013). Introducción a las políticas públicas. Conceptos y herramientas desde la relación entre Estado y ciudadanía. En *IEMP Ediciones*. Recuperado de <http://bit.ly/34siOO5>
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Buys, L., Ioppolo, G., Sabatini-Marques, J., da Costa, E. M. y Yun, J. H. J. (2018). Understanding “smart cities”: Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. *Cities*, 81(abril), 145-160. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.003>
- Zaheer, A. y Dhunny, Z. A. (2019). On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities*, 89(noviembre de 2018), 80-91. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.032>



Capítulo 6. Estrategia de localización de instalaciones agroindustriales compartidas: Istmo de Tehuantepec

Ma. Loecelia Guadalupe Ruvalcaba Sánchez*
Reyes Hernández Díaz**

Introducción

El Istmo de Tehuantepec se ubica en la porción más estrecha del territorio mexicano, en donde los océanos Pacífico y Atlántico están separados por apenas 300 km de tierra (Gómez Martínez, 2005). Se trata de una región que ha tenido una importancia geopolítica histórica, relevante como zona estratégica de tránsito y comercio, debido a su estrechez y privilegiada ubicación geográfica, pero también por sus características productivas y su vasta riqueza natural y cultural.

Los esfuerzos gubernamentales por volver a darle vida al corredor transístmico se mantuvieron latentes por décadas,

* Lugar de adscripción (ej. Nombre completo de Universidad, Facultad y/o Departamento), e-mail, teléfono.

** Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Aguascalientes. Tel. 449-9105002 ext. 102, reyes.hd@aguascalientes.tecnm.mx.

pero se intensificaron a partir de la década de los setenta con una diversidad de proyectos y programas asociados a las directrices marcadas por las administraciones federales en turno, pero que siempre han buscado sacar a la población de la región, mayoritariamente indígena, del atraso, pobreza y aislamiento que ha prevalecido en la región sur sureste del país.

Sin embargo, los resultados obtenidos hasta hoy no han sido los esperados. Esto hace cada vez más evidente y necesario pensar en proyectos de desarrollo regional integral que, como bien lo señalaba San Martín Romero (1997), busquen aprovechar las ventajas locales en pleno respeto de los usos, costumbres, capacidades, cultura y patrimonio, para que, mediante la agregación de valor, uso de tecnología y promoción de las exportaciones se genere capital y se fomente la creación de empleos.

En este trabajo se presenta una propuesta estratégica de localización de una instalación agroindustrial compartida para la articulación de cadenas de valor agrícolas en general y de frutales, en particular que contribuyan al desarrollo local. Se busca que esta nueva instalación se erija en torno a la infraestructura ferroviaria para que con un mínimo de inversión se puedan aprovechar los proyectos de rehabilitación del ferrocarril promovidos por la actual administración, de manera que se puedan mejorar paulatinamente y de manera endógena las condiciones productivas locales actuales y la derrama económica por concepto de agregación de valor y emprendedurismo. Como consecuencia de lo anterior y derivado de la participación del capital y talento humano, se podrá mejorar la calidad de vida de la población.

Fundamentación teórica

En esta sección se presentan y describen los principales conceptos asociados a la investigación. Entre ellos se incluyen las diferentes definiciones y tipos de corredores, las características generales del Istmo de Tehuantepec, el concepto de desarrollo local y la base teórica de las decisiones de localización de instalaciones.

Corredores transístmicos

Gómez García (2003) indica que los términos “corredor de transporte”, “corredor de exportación”, “corredor de servicios”, “corredor bioceánico” o “corredor interoceánico” suelen ser utilizados de manera indistinta. Sin embargo, el término común a todos ellos es el corredor de transporte, definido a partir de la articulación de medios, modos, infraestructura y facilidades de transporte a lo largo de ejes de circulación que dan viabilidad al movimiento de carga a gran escala. El corredor de exportación implica la conexión del corredor de transporte con vías internacionales. El corredor de servicio, en el caso específico de Bolivia, buscó perfeccionar el concepto anterior al incluir los efectos económicos del tránsito de mercancías por su territorio. Finalmente, los términos corredor bioceánico e interoceánico enfatizan que el corredor de transporte conecta dos océanos.

La palabra istmo, por su parte, tiene origen en las palabras latina *isthmus* y griega *isthmos*, traducidas como paso estrecho. En el ámbito de la geografía, un istmo es una porción de tierra situada entre dos mares. Su configuración física expresa la unión o la separación de la circulación e intercambio de personas y mercancías entre los mares donde se encuentra inserto y motiva a los Estados a sacar provecho de esta ventaja geográfica (Léonard, Prévot-Schapira, Velázquez y Hoffmann, 2009). Por ello, es común que los istmos estén atravesados por un canal que facilita el transporte marítimo y acorta los recorridos entre continentes (Pérez Porto y Merino, 2018). Estas vías son conocidas como canales o corredores transístmicos.

Los principales canales o corredores transístmicos del mundo son: el Canal de Corinto, en Grecia, una vía artificial de 6.3 km de longitud que une el golfo de Corinto con el mar Egeo a través del istmo de Corinto; el Canal de Suez, en Egipto, que une el mar Mediterráneo con el golfo de Suez a través del istmo de Suez con 22 km de longitud; el Canal de Panamá, con 82 km de longitud, que une el mar Caribe y el océano Pacífico por el istmo de Panamá, y el corredor del Istmo de Tehuantepec, en México, que une el océano Pacífico con el océano Atlántico a través del Istmo de Tehuantepec, con 215 km de longitud (Gómez Martínez, 2005).

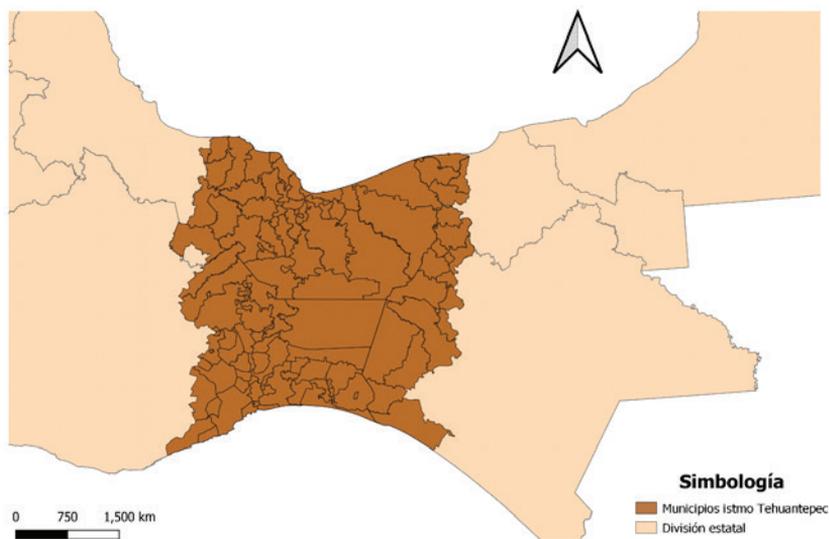
De los anteriores, el Istmo de Tehuantepec es el único que, pese a los continuos esfuerzos de las autoridades mexicanas, no ha logrado tener un éxito prolongado como corredor transístmico, ya que sólo experimentó un breve periodo de esplendor que inició en 1907, con la construcción y puesta

en marcha de los Ferrocarriles Nacionales de Tehuantepec, que conectaron los puertos de Coatzacoalcos y Salina Cruz y que concluyó en 1914, con la apertura del Canal de Panamá y la terminación del contrato que Pearson & Compañía tenían alrededor de la infraestructura portuaria y ferroviaria del mismo (Torres Fragoso, 2017; y Martner Peyrelongue, 2012).

Istmo de Tehuantepec

El Istmo de Tehuantepec se ubica en el sureste del territorio mexicano, en donde tan sólo 215 km de tierra separan los océanos Pacífico y Atlántico. En su caracterización como región, tradicionalmente se piensa en los estados de Oaxaca y Veracruz; sin embargo, Gómez Martínez (2005) señala que hay municipios de Tabasco y Chiapas que también forman parte de ella. La configuración regional de este autor contempla catorce municipios de Chiapas, seis de Tabasco; 34 de Veracruz y 44 de Oaxaca (Figura 1).

Figura 1. Configuración regional Istmo de Tehuantepec



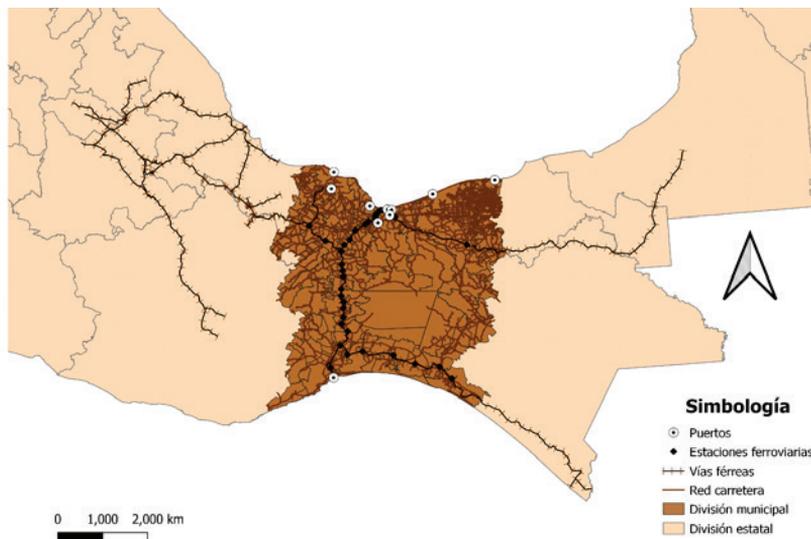
Fuente: elaboración propia basada en Gómez Martínez (2005).

Léonard, Prévot-Schapira, Velázquez y Hoffmann (2009) señalan, por otro lado, que en el istmo es difícil encontrar una región geográfica con “armonía física de medio, coherencia cultural y la originalidad identitaria de una construcción sociohistórica significativa”.

Se trata de una región que cuenta una vasta riqueza natural y cultural en la que pareciera aplicar la controversial tesis de la maldición de los recursos naturales de Auty (1993), debido a que ni la riqueza natural ni las grandes inversiones han logrado traducirse en desarrollo y bienestar para aquellos que habitan en su territorio, pues, en 2020 el porcentaje promedio de población en pobreza extrema en esta región era de 64.10 con máximas de 90.76 en algunos municipios (CONEVAL, 2021).

Los programas y esfuerzos volcados en la región en las últimas décadas han derivado en infraestructura logística y de transporte a lo largo de todo el territorio (Figura 2). Entre esta se destaca los puertos de: Coatzacoalcos, un puerto comercial e industrial que junto al recinto de Pajaritos tiene gran capacidad de carga, y el de Salina Cruz, con equipamiento para el manejo de carga contenerizada, granel agrícola, minera, carga general y de petróleo y sus derivados. También la vía ferroviaria troncal de 306 km entre Coatzacoalcos y Salina Cruz. Existen alrededor de 8 464 km de carretera y 5 872 km de caminos. Respecto a los aeropuertos, están el Aeropuerto Internacional de Minatitlán, que opera fundamentalmente con vuelos domésticos a Ciudad de México, y el Aeropuerto Militar de Ixtepec, actualmente cerrado a operaciones comerciales y turísticas (Correa, Ruvalcaba y Mohar, 2016).

Figura 2. Infraestructura logística y de transporte en el Istmo de Tehuantepec



Fuente: elaboración propia.

Desarrollo local

En las décadas de los sesenta y setenta, el paradigma de desarrollo se centró en la industrialización a partir de la atracción de inversión extranjera directa. Los gobiernos se esforzaban por atraer grandes firmas industriales a su territorio ofreciendo ventajas de localización como mano de obra barata, exención de impuestos, donación de terrenos, entre otros (Vázquez Barquero, 1987). Esto derivó en un incremento de las desigualdades entre regiones y el crecimiento de redes de interdependencia entre actores en distintos ámbitos y espacios (Maldonado Bodart y López Leyva, 2017). España es un país que llegó tarde a este proceso de industrialización y un claro ejemplo de que la producción industrial puede consolidarse a través de industrias locales, es decir, del desarrollo local (Vázquez Barquero, 1987).

El desarrollo local es un proceso integrador en el que el desarrollo económico se articula con la generación de riqueza y la creación de empleo, pero también con la cohesión e integración social, la protección de los recursos

naturales y el mantenimiento y desarrollo de un referente identitario que estructure y dé sentido a la vida y al proyecto de ese territorio específico (Enríquez Villacorta, 2008).

Cabe mencionar, sin embargo, que los procesos son de naturaleza endógena y deben ser acompañados de un paquete de factores económicos y socio-culturales que estimulen a las comunidades locales a resolver sus propios problemas y a revalorizar sus recursos locales y su utilización óptima (Enríquez Villacorta, 2008; y Vázquez Barquero, 1987).

De acuerdo con Enríquez Villacorta (2008), entre los planos sociales de la endogeneidad se destacan: 1) creciente capacidad del territorio para optar por estilos de desarrollo propios y poner en uso instrumentos de política adecuados a tales estilos; 2) capacidad para apropiarse del excedente económico generado allí para ser reinvertido *in situ* a fin de propiciar un crecimiento sostenido y una matriz productiva diversificada; 3) capacidad del territorio para generar sus propios impulsos de cambio tecnológico que modifiquen cualitativamente su funcionamiento para establecer un sistema local de ciencia y tecnología; y 4) enmarcarse en una cultura productora de identidad territorial, a partir del cual los activos intangibles potencian la competitividad territorial.

Localización de instalaciones

Las decisiones de localización de instalaciones son un elemento crítico para la planeación estratégica de empresas públicas y privadas (Hesse Owen, 1998). Estas decisiones están asociadas al proceso que se sigue para elegir un lugar geográfico para operar bajo ciertas restricciones buscando la mayor rentabilidad de las operaciones con respecto a la inversión o bien, cumplir con los objetivos de la empresa (Carro Paz y González Gómez, 2012; y Sinha, 2004). Objetivos que en muchas ocasiones son incomparables y conflictivos entre sí y que están ampliamente influenciados por la naturaleza del producto o servicio que se oferta. Un producto o servicio privado buscará la optimización de los recursos, en tanto que, un producto o servicio público buscará mejorar la equidad y accesibilidad espacial (Buzai y Baxendale, 2008).

Bosque Sendra y Franco Maass (1995) esquematizan la localización de instalaciones, desde el punto de vista espacial, a partir de la ubicación concreta

de una instalación que oferta productos o servicios en un espacio bidimensional con una demanda irregularmente distribuida en el espacio en donde los movimientos entre la oferta y la demanda pueden producirse de múltiples maneras, usando la red de carreteras y caminos. La perspectiva espacial permite analizar la actividad humana (Buzai & Baxendale, 2008), buscando una distribución espacial más eficiente y equitativa, por lo que el territorio y sus dinámicas pueden ser determinantes para las decisiones de localización a mediano y largo plazo (Kik, Wichmann y Spengler, 2022).

En los modelos de localización de instalaciones con perspectiva espacial se destacan tres componentes: matemático, que ayuda a abstraer y representar la realidad; meso-espacial, que delimita claramente los aspectos a resolver en el territorio; y normativo, porque busca la mejor solución al problema (Ramírez y Bosque Sendra, 2001).

Metodología

La presente investigación parte de la revisión documental de los principales proyectos y políticas públicas promovidos en la región del Istmo de Tehuantepec en las últimas décadas, con el propósito de detonar su desarrollo. La intención es entender sus características y alcances para después reflexionar en torno a los aspectos que pudieron limitar su éxito.

Por otro lado, se realiza un análisis geográfico a escala municipal de la información del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de 2013 a 2017 para identificar el top 10 de productos agroalimentarios de la región, en función de su valor de su producción histórico y prospectivo. Los productos agroalimentarios de la región fueron agrupados en categorías en función de sus características de manejo y transporte, así como por sus posibilidades y requerimientos de industrialización.

Una de las categorías fue seleccionada para ilustrar la metodología de localización de instalaciones. Con el apoyo de un grupo de expertos, usando la metodología Delphi, se identificaron las actividades económicas del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) que pueden formar parte de la cadena de valor del grupo seleccionado. Las empresas registradas en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) con

las actividades económicas identificadas fueron seleccionadas y visualizadas en el mapa para reflexionar en torno a su frecuencia y distribución espacial.

Las 48 estaciones identificadas a lo largo de la vía (Figura 2) fueron utilizadas como instalaciones candidatas con la finalidad de aprovechar los espacios alrededor de la infraestructura ferroviaria para la agregación de valor a las mercancías, dotar de mayor sentido al corredor y posibilitar el acceso a transporte multimodal a nivel local, regional y global. Las estaciones fueron priorizadas con una ponderación en función de su operatividad actual con la intención de darle más peso a aquellas que se encuentran en operación o que requieren inversiones menores para poder operar.

Se aplicó un algoritmo de localización-asignación espacial utilizando el Sistema de Información Geográfica para preseleccionar estaciones con posibilidad de recibir producción. El modelo matemático asociado al problema es el siguiente:

$$Z = \text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_j y_j d_{ij} \quad (1)$$

s.a.

$$d_{ij} \leq D \quad \forall (i \in I), (j \in J) \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} y_j = 1 \quad \forall (j \in J) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^m y_j = p \quad (4)$$

$$x_{ij} \in [0,1] \quad \forall (i \in I), (j \in J) \quad (5)$$

$$y_j \in [0,1] \quad \forall (j \in J) \quad (6)$$

Donde la ecuación (1) minimiza las distancias punto a punto ponderadas con las cargas (impedancia). La ecuación (2) asegura que las asignaciones consideran una distancia máxima o distancia de decaimiento que para el caso de aplicación es de 100 kilómetros. Dado que la escala mínima de representación del SIAP es el municipio se utilizaron las coordenadas cartográficas de las cabeceras municipales para concentrar la producción y representar el origen de las cargas. La ecuación (3) asegura que el municipio i sea asignado sólo a una estación j . La ecuación (4) establece el número p de localidades a ubicar.

Las ecuaciones (5) y (6) determinan que las variables de decisión x_{ij} e y_j tomen valores binarios, respectivamente.

Las estaciones preseleccionadas fueron sometidas a un proceso de análisis adicional con la finalidad de sugerir la estación más adecuada para la ubicación de la instalación procesamiento y almacenamiento de los productos del grupo seleccionado.

Resultados y discusión

A continuación, se describen y discuten los resultados obtenidos en cada una de las etapas planteadas en la sección de metodología.

Proyectos y políticas públicas

El interés y los esfuerzos contemporáneos por reavivar el corredor del Istmo de Tehuantepec como una estrategia de desarrollo económico en el sur sureste mexicano, estuvo latente durante décadas, pero se volvió más intenso y recurrente a partir de la década de los setenta a través de los programas y proyectos presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Proyectos y políticas públicas para la rehabilitación del Istmo de Tehuantepec

<i>Periodo/referencia</i>	<i>Proyecto/objetivo</i>	<i>Resultados/limitantes</i>
1970-1976 (Castillo, 2010; y Toledo, 1978)	El milagro de Uxpanapa buscaba establecer una jauja para brindar soberanía alimentaria al país.	Suelos delgados y precarios no aptos para producción agropecuaria. Resistencia de la población indígena al cambio tecnológico.
1980 (Torres Fragoso, 2017)	Plan Alfa-Omega pretendió desarrollar un sistema de transporte de carga para competir con canal de Panamá.	Se limitó a la reconversión de Salina Cruz con obras como muelles, rompeolas y terminal de contenedores. Asimismo, se construyó un oleoducto de 48 pulgadas con financiamiento japonés.

<i>Periodo/referencia</i>	<i>Proyecto/objetivo</i>	<i>Resultados/limitantes</i>
1996 (García A., 2013)	Programa Integral de Desarrollo Económico para el Istmo de Tehuantepec o Megaproyecto del Istmo de Tehuantepec, buscó posicionar el istmo en el mercado mundial de mercancías como opción alterna y no como competencia del Canal de Panamá.	Derivó en la rehabilitación del ferrocarril, así como la construcción y ampliación de la infraestructura portuaria de los puertos de Coatzacoalcos y Salina Cruz.
2001 (García A., 2013; Torres Torres y Gasca Zamora, 2004, y Martínez Laguna, Sánchez Salazar y Casado Izquierdo, 2002)	Plan Puebla-Panamá orientado a mejorar la calidad de vida de los habitantes y revertir tendencias seculares. En él se incluían los estados de Puebla, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, pero se extendía a Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Costa Rica y Panamá.	Privilegio infraestructura de transporte, hidrología y energía sobre los proyectos de desarrollo social. En México se orientó principalmente a la construcción o rehabilitación e infraestructura carretera.
2016-2019 (Torres Fragoso, 2020, y Autoridad Federal para el Desarrollo de las Zonas Económicas Especiales, 2017)	Las Zonas Económicas Especiales de México buscaron impulsar la inversión, la productividad, la competitividad y el empleo en los estados con mayor índice de pobreza en ánimo de disminuir la brecha regional y promover el desarrollo económico, favoreciendo de manera importante al sur-sureste.	Se creó la Ley Federal de Zonas Económicas Especiales, una Autoridad Federal para el desarrollo de las Zonas Económicas Especiales, se decretaron siete Zonas Económicas Especiales y sus áreas de influencia: Coatzacoalcos, Lázaro Cárdenas, Salina Cruz, Puerto Chiapas, Progreso, Champotón y Dos Bocas. Para fines de 2018 se tenían acordadas inversiones importantes pero el proyecto fue cancelado el 24 de abril de 2019.

<i>Periodo/referencia</i>	<i>Proyecto/objetivo</i>	<i>Resultados/limitantes</i>
2019 a la fecha (Clavijo Flórez, 2020, y Cuenta Pública, 2020)	Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec, que busca impulsar el desarrollo integral, sostenible e incluyente de la región del Istmo de Tehuantepec respetando historia, cultura y tradiciones.	Creación de la oficina del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec, organismo público descentralizado, rehabilitación del ferrocarril y gasoducto Jaltipan-Salina Cruz; creación de una nueva terminal de contenedores en Coatzacoalcos y Salina Cruz, construcción del circuito transístmico, centrales eólicas, mantenimiento y rehabilitación a las refinerías de Minatitlán y Salina Cruz y el establecimiento de seis polígonos de bienestar para el desarrollo.

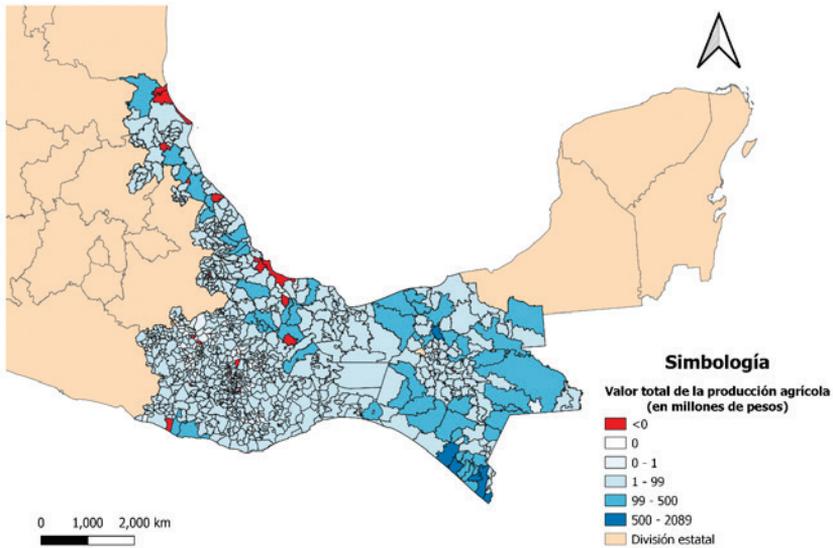
Fuente: elaboración propia a partir de diversas fuentes.

Principales productos agroindustriales

Para marcar la tendencia del valor de la producción de los productos agroalimentarios, se utilizaron los datos de cantidad producida y valor de la producción del SIAP y Excel. Esto nos permitió identificar que los productos del *top* diez en el istmo son: pastos y praderas, café, cereza, plátano, maíz, papaya, mango, agave, caña de azúcar, frijol y chile verde. En estos diez productos representan poco más de 80% del valor de toda la producción.

Como puede verse en la Figura 3, pese a la definición regional del Istmo de Tehuantepec que se mencionó previamente, se decidió extender el análisis a todos los municipios de las cuatro entidades federativas que convergen en él, en ánimo de poder establecer regiones productivas y tener una visión más amplia para la posible articulación de cadenas de suministro en todo ese territorio. En el mapa podemos destacar la tendencia productiva negativa de algunos municipios y la marcada superioridad del valor de los productos en los estados de Chiapas y Tabasco. Se destaca también que son los municipios de Oaxaca los que presentan valores de producción más bajos.

Figura 3. Valor total de la producción agrícola en los estados que convergen en el Istmo de Tehuantepec



Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera-SIAP (2019).

Grupos productivos

Los productos agrícolas fueron agrupados en función de sus características físicas, de manejo y posibilidades de industrialización en ocho grupos:

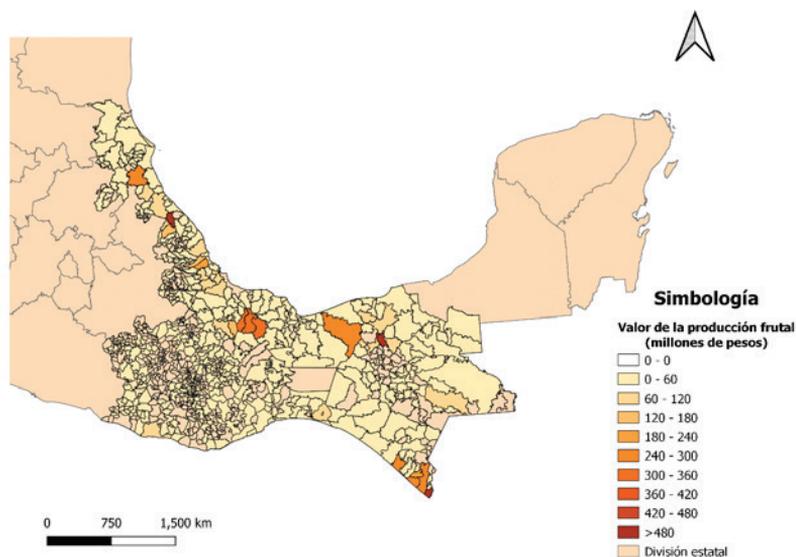
1. Alimentos base que incluye al ajo, calabacita, calabaza, cebolla, chayote, chile seco, chile verde, col, ejote, nopalitos, jitomate, tomate verde, zanahoria.
2. Edulcorantes como caña de azúcar, caña de azúcar fruta y caña de azúcar piloncillo.
3. Especies como pimienta.
4. Flores entre las que se incluyen gladiola, vainilla, flor de jamaica y zempoalxóchitl.

5. Frutales que integra aguacate, ciruela, coco fruta, copra, durazno, granada, guanábana, guayaba, limón, litchi, mamey, mango, manzana, melón, nanche, naranja, papaya, pepino, piña, plátano, sandía, tamarindo, tangerina, pomelo y zapote.
6. Granos y semillas como ajonjolí, arroz palay, cacahuete, cebada grano, frijol, garbanzo grano, maíz grano y sorgo grano.
7. Silvicultura que incluye productos como cacao y café cereza.
8. Forrajes verdes como alfalfa verde, avena forrajera en verde, avena forrajera en seco, cebada forrajera en verde, maíz forrajero en verde, pastos y praderas, sorgo forrajero en verde y trigo grano.

Selección de grupo productivo

Para ilustrar el resto de la metodología, se seleccionó el grupo de frutales debido a su viabilidad de transformación e integración de valor, así como por la gran demanda que este grupo tiene en el mercado nacional e internacional. La Figura 4 muestra la distribución del valor de la producción prospectiva en cada uno de los municipios de Chiapas, Oaxaca, Tabasco y Veracruz. En ella puede verse que por el valor de su producción frutal se destacan los municipios de Suchiate, Chiapas; Martínez de la Torre, Veracruz; Teapa, Tabasco; Isla, Veracruz; José Azueta, Veracruz; Juan Rodríguez Clara, Veracruz; Tapachula, Chiapas; Huimanguillo, Tabasco; Álamo Temapache, Veracruz; y Mazatán, Tabasco.

Figura 4. Valor de la producción frutal en el Istmo de Tehuantepec



Fuente: elaboración propia con datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera-SIAP (2019).

En la identificación de las actividades económicas del SCIAN relacionadas con la cadena de valor de los productos frutales, se utilizó la metodología Delphi, técnica de investigación grupal basada en el juicio de expertos. En este proceso se contó con la participación de siete investigadores de reconocido prestigio en el ámbito de la logística, agronomía, mercadotecnia y producción. La circulación de los instrumentos se realizó mediante correo electrónico y fueron requeridas cuatro rondas para alcanzar el consenso. La Tabla 2 muestra la lista final de actividades seleccionadas a partir del DENUE 11/2018 y la manera en cómo estas se encuentran distribuidas en las diferentes entidades (INEGI, 2018).

Tabla 2. Actividades económicas relacionadas con el procesamiento de frutas

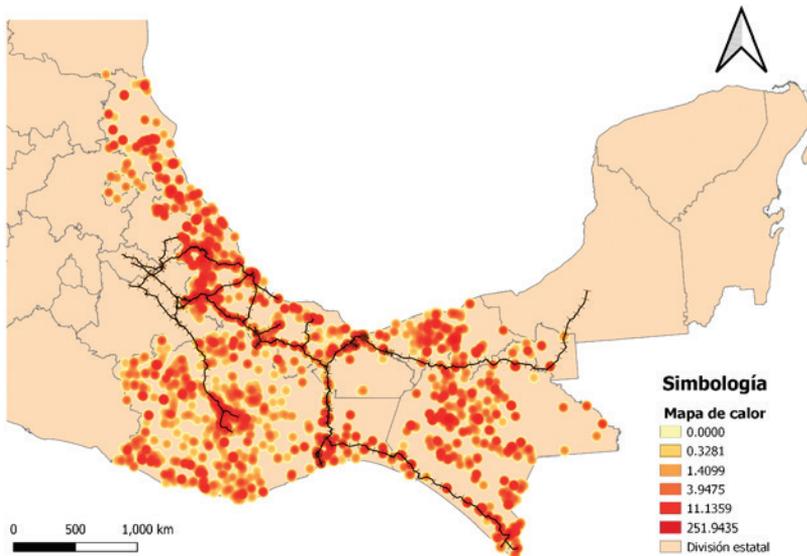
<i>Código</i>						
<i>SCIAN</i>	<i>Nombre de la actividad</i>	<i>Chiapas</i>	<i>Oaxaca</i>	<i>Tabasco</i>	<i>Veracruz</i>	<i>Total</i>
311110	Alimentos animales (suplementos)	9	1	3	21	34
311214	Harinas de frutas y similares	8	30	3	3	44
311319	Otros azúcares (incluyendo de frutas)	14			22	36
311340	Dulces, chicles y confitería (incluyendo de frutas)	55	124	15	75	269
311411	Congelado de frutas y verduras (conservación)		1		1	2
311412	Congelación de guisos y preparados			1		1
311421	Deshidratado de frutas y verduras (conservación)	2	2		3	7
311422	Conservación de fruta por otros métodos (incluye mermeladas)	9	34	1	20	64
311423	Conservación de guisados otros métodos (incluye frutas)	11	49	4	81	145
311513	Yogurts con frutas y otros derivados lácteos	216	282	42	367	907
311520	Helados y paletas (incluyendo de frutas)	201	396	97	374	1 068
311811	Panificación industrial			6	3	9
311812	Panificación tradicional	1 861	3 383	580	4 218	10 042
311930	Concentrados, jarabes, saborizantes y polvos para bebidas	2	2	8	13	25
311940	Salsas y aderezos (incluyendo de frutas)	2	3	3	9	17
311999	Otros alimentos (incluyendo fruta cortada y pelada)	10	17	15	17	59

Código SCIAN	Nombre de la actividad	Chiapas	Oaxaca	Tabasco	Veracruz	Total
312120	Fabricación de cervezas (incluyendo con frutas)	2	4		6	12
312139	Sidras y otras bebidas fermentadas (incluyendo de frutas)				6	6
312149	Licores y destilados (incluyendo de frutas)	4	1	2	14	21
431110	Comercio al por mayor de enlatados y abarrotes	221	142	136	317	816
431130	Comercio al por mayor de frutas y verduras frescas	160	64	84	168	476
431160	Comercio al por mayor de yogures con frutas	27	25	15	48	115
431180	Comercio al por mayor de dulces y materia prima para repostería	16	14	15	54	99
484111	Autotransporte local de productos agrícolas	7		1	1	9
484121	Autotransporte foráneo de productos agrícolas	9		3	9	21

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2018).

La Figura 5 muestra cómo las actividades asociadas a la cadena de valor de los frutales se encuentra distribuida en el territorio a través de un mapa de calor; para su realización fue utilizado un radio de 10 kilómetros. En ella podemos ver que los centros poblacionales cercanos a las vías muestran una concentración importante. Esto no significa, sin embargo, que estén utilizando las vías férreas para la movilización de sus productos ni que la procedencia de los insumos utilizados por dichas unidades económicas es local.

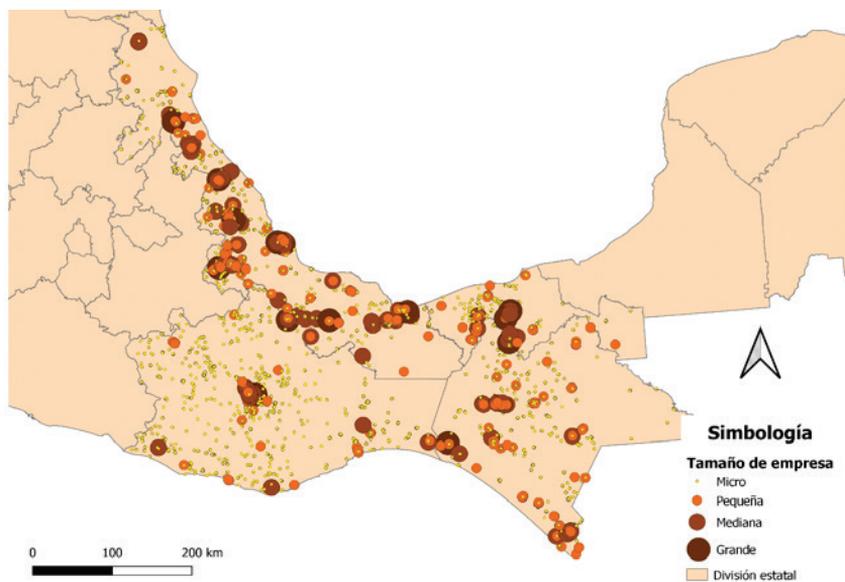
Figura 5. Hot spot de las actividades económicas asociadas con el procesamiento de frutas



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2018).

Considerando el personal ocupado reportado en el DENEU, las empresas fueron clasificadas de conformidad con lo establecido en el Acuerdo por el que se Establece la Estratificación de las Micro, Pequeñas y Medianas (2019). La Figura 6 muestra la distribución espacial de las empresas de conformidad con esta clasificación. En ella podemos ver que existen muchas microempresas (95.4%) y muy pocas empresas grandes en la región (0.1%).

Figura 6. Distribución territorial de las empresas por tamaño

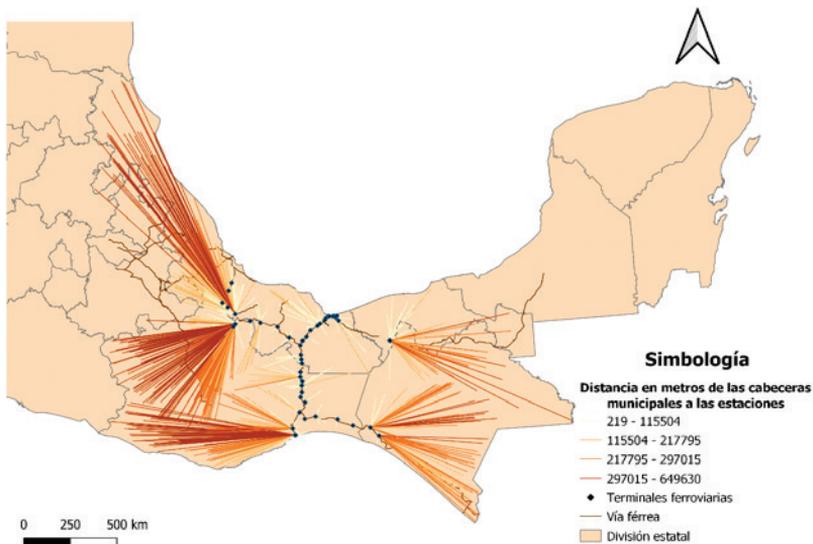


Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2018).

Selección de ubicación

Al aplicar el algoritmo de localización-asignación espacial se preseleccionaron 18 estaciones (Figura 7). La Tabla 3 presenta el estatus de estas estaciones, las toneladas prospectivas promedio que recibirá y el número de municipios más cercanos a ella. En cuanto al estatus podemos destacar: seis de las estaciones preseleccionadas se encuentran en operación, ocho requieren rehabilitación y cuatro forman parte de las estaciones propuestas. Las toneladas prospectivas fueron ordenadas de mayor a menor, cuatro de las cinco principales estaciones receptoras requieren rehabilitación. La estación de Huimanguillo es la única de este *ranking* que está en operación.

Figura 7. Distancia en metros entre cabeceras municipales e infraestructura ferroviaria



Fuente: elaboración propia con datos de Ruvalcaba Sánchez, López Pérez, Fernández Lambert y Correa Medina (2019).

Por otro lado, si se busca que la ubicación seleccionada cubra la mayor cantidad de municipios, la estación propuesta en la capital de Oaxaca sería la mejor candidata. Sin embargo, esta no cuenta actualmente con conexión ferrocarrilera dado que la vía que solía conectarla está en total abandono en el tramo de Tehuacán a Altepexi e incluso el tramo que conectaba a este último municipio con la capital oaxaqueña fue removido.

Tabla 3. Estaciones preseleccionadas

Ubicación	Tipo	Condición	Toneladas	Municipios
Pichucalco	Estación abandonada	Rehabilitación	629 836.28	13
José Azueta	Estación en reúso (Gubernamental)	Rehabilitación	588 627.24	16
Manilo Fabio Altamirano	Estación abandonada	Rehabilitación	453 235.25	28

<i>Ubicación</i>	<i>Tipo</i>	<i>Condición</i>	<i>Toneladas</i>	<i>Municipios</i>
Huimanguillo	Estación existente	Operativa	366 491.12	7
Chahuites	Estación en desuso	Rehabilitación	172 655.29	9
San Juan Bautista Tuxtepec	Patio de maniobras	Operativa	118 943.16	13
Matías Romero Avendaño	Estación	Propuesta	64 495.84	7
Chinameca	Estación	Propuesta	61 686.56	18
Amealco	Estación con otro uso	Rehabilitación	55 783.69	24
Jesús Carranza	Estación	Propuesta	28 394.29	5
Tonalá	Patio de maniobras	Operativa	21 234.68	3
Valerio Trujano	Estación abandonada	Rehabilitación	18 271.94	16
Santo Domingo Tehuantepec	Patio de maniobras	Operativa	17 173.88	16
Teotitlán de Flores Magón	Estación abandonada	Rehabilitación	15 471.59	18
Oaxaca de Juárez	Capital estatal	Propuesta	10 753.24	92
Coatzacoalcos	Patio de maniobras	Operativa	4 979.19	4
Salina Cruz	Patio de maniobras	Operativa	1 477.24	5
San Francisco Telixtlahuaca	Estación abandonada	Rehabilitación	381.05	18

Fuente: elaboración propia con base en Ruvalcaba Sánchez, López Pérez, Fernández Lambert y Correa Medina (2019).

Conclusiones

La ubicación estratégica, la importancia geopolítica y los constantes intentos de rehabilitación del Istmo de Tehuantepec no han sido suficientes para mejorar las condiciones de vida de su población, mayoritariamente indígena. Esto se debe en gran medida a que los esfuerzos se han concentrado en promover el desarrollo regional exógeno a partir de la atracción de capital extranjero y grandes firmas; capitales y empresas que no han encontrado en el territorio las condiciones o atractores necesarios para invertir.

La metodología propuesta se basa en un algoritmo localización-asignación espacial de instalaciones compartidas, utilizando un Sistema de

Información Geográfica. Se estableció como prerrogativa que estas instalaciones se ubiquen alrededor de las vías del tren a fin de darle mayor sentido al corredor ferroviario a partir de la derrama económica, producto de la agregación de valor a la producción. Esta ubicación posibilita, además, el acceso a transporte multimodal y a mercados en diferentes escalas.

A través de instalaciones compartidas y accesibles con equipamiento tecnológico de producción y logística, se espera contribuir al desarrollo local. Las instalaciones brindarían a los emprendedores, inversores y talento humano local la posibilidad de agregar valor a sus productos a un precio accesible que les permita ser competitivos en el mercado.

Los resultados obtenidos muestran que la infraestructura carretera actual les da a los municipios productores la posibilidad de converger en estaciones operativas, rehabilitables o prospectivas que les permitirían acceder a economías y mercados de diferentes escalas. Esta estrategia requerirá, por supuesto, la suma de voluntades y la cooperación de actores locales y federales, así como la promoción de políticas públicas y programas que incentiven y privilegien el desarrollo local endógeno sobre el desarrollo regional exógeno.

Lista de referencias

- Acuerdo por el que se establece la estratificación de las micro, pequeñas y medianas (2019, 30 de junio). *Diario Oficial de la Federación*, 2.
- Autoridad Federal para el Desarrollo de las Zonas Económicas Especiales (2017). *Zonas Económicas Especiales: El gran proyecto de nación*. Ciudad de México: SHCP/ZEE.
- Auty, R. (1993). *Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis*. Routledge.
- Bosque Sendra, J. y Franco Maass, S. (1995). Modelos de localización-asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables. *Serie Geográfica*, 5, 97-112.
- Buzai, G. D. y Baxendale, C. A. (2008). Modelos de localización-asignación aplicados a los servicios públicos urbanos: Análisis espacial de escuelas EGC en la ciudad de Luján. *Revista Universitaria de Geografía*, 17, 233-254.
- Carro Paz, R. y González Gómez, D. (2012). *Localización de instalaciones*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Mar de Plata.

- Castillo, A. del (2010, 8 de agosto). Las tragedias de Uxpanapa. *Milenio*, 1-9. Recuperado de <https://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/4593.pdf>
- Clavijo Flórez, I. (2020). *Corredor del Istmo de Tehuantepec: Las asociaciones público privadas y sus impactos territoriales en México*. Ciudad de México: Poder.
- CONEVAL (2021). *Medición de la pobreza*. Ciudad de México: Autor.
- Correa, G., Ruvalcaba, L. y Mohar, A. (2016). Caracterización del Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec: Perspectiva territorial. *I ICSC-MEG*, 1-9.
- Cuenta Pública (2020). *Corredor Interoceánico del Istmo de Tehuantepec: Introducción*. Ciudad de México: SHCP.
- Enríquez Villacorta, A. (2008). Introducción. Desarrollo local, hacia nuevas rutas de desarrollo. En A. Abardía, F. Morales y M. Editores (eds.), *Desarrollo regional reflexiones para la gestión de los territorios* (pp. 11-36). Ciudad de México, México: Alternativas y Capacidades. Recuperado de https://alternativasycapacidades.org/wp-content/uploads/2019/04/Desarrollo-Regional-Reflexiones-para-la-Gesti%C3%B3n-de-los-Territorios_AYc.pdf
- García A., M. Á. (2013). *El megaproyecto del istmo de Tehuantepec: Globalización y deterioro socioambiental*. Recuperado de Maderas del Pueblo: <https://maderasdelpueblo.org/wp-content/uploads/2021/07/5-El-Mega-proyecto-del-Istmo-Estudio-2013-.pdf>
- Gómez García, V. (2003). *Corredores interoceánicos e integración en la economía mundial: Bolivia ante los desafíos de la globalización económica, competitividad internacional y el desarrollo humano sostenible*. La Paz, Bolivia: Udapez e Ildis.
- Gómez Martínez, E. (2005). *Diagnóstico regional del istmo de Tehuantepec*. Oaxaca: CIESAS. Recuperado de <https://salomonnahmad.files.wordpress.com/2012/02/11-istmo-de-tehuantepec.pdf> [Consulta: 19 de septiembre de 2019].
- Hesse Owen, S. D. (1998). Strategic facility location: a review. *European Journal of Operation Research*, 111, 423-447.
- INEGI (2018, 1 de noviembre de 2018). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. Aguascalientes. Aguascalientes, México.

- Kik, D., Wichmann, M. G. y Spengler, T. S. (2022). Decision support framework for the regional facility location and development planning problem. *Journal of Business Economics*, 92, 115-157.
- Léonard, E., Prévot-Schapira, M.-F., Velázquez, E. y Hoffmann, O. (2009). Introducción. La región inasequible: Estado, grupos corporados, redes sociales y corporativos en la construcción de los espacios del istmo mexicano. En E. Velázquez, E. Léonard, O. Hoffmann y M.-F. Prévot-Schapira, *El istmo mexicano: una región inasequible. Estado, poderes locales y dinámicas espaciales (siglos XVI-XXI)* (pp. 19-55). Mexico: Publicaciones de la Casa Chata.
- Maldonado Bodart, M. y López Leyva, S. (2017). La visión del desarrollo dentro del contexto global y regional. El regionalismo a través de la Alianza del Pacífico y la Asociación Latinoamericana de Integración, 2005-2014. *Desafíos, Bogotá*, 29(1), 13-48. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/desa/v29n1/v29n1a02.pdf>
- Martínez Laguna, N., Sánchez Salazar, M. T. y Casado Izquierdo, J. M. (2002). Istmo de Tehuantepec: un espacio geoestratégico bajo la influencia de intereses nacionales y extranjeros. Éxitos y fracasos en la aplicación de políticas de desarrollo industrial (1820-2002). *Investigaciones Geográficas, Boletín de Geografía, UNAM*, 49, 118-135. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n49/n49a8.pdf>
- Martner Peyrelongue, C. M. (2012). El sur también existe: el corredor multimodal del Istmo de Tehuantepec en la era de la globalización. *Región y Sociedad*, XXIV(54), 97-134.
- Pérez Porto, J. y Merino, M. (2018, 1 de enero). *Definición de istmo*. Recuperado de Definicion.de: <https://definicion.de/istmo/>
- Ramírez, L. y Bosque Sendra, J. (2001). Localización de hospitales: analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 21, 53-79.
- Ruvalcaba Sánchez, L., López Pérez, A., Fernández Lambert, G. y Correa Medina, G. (2019). *Un estudio sobre modelos y métodos para la articulación y encadenamiento de cadenas de suministro agroalimentarias y de los sectores clave de la región*. Aguascalientes: CentroGeo.
- San Martín Romero, J. (1997). *Análisis comparativo de competitividad entre los corredores de transporte internacionales y el puente transístmico mexicano*. Ciudad de México: Academia Mexicana de Ingeniería. Recuperado

- de <https://es.slideshare.net/AcademiaDeIngenieriaMx/anlisis-comparativo-de-competitividad-entre-los-corredores-de-transporte-internacionales-y-el-puente-transstmico-mexicano> [Consulta: 26 de septiembre de 2019].
- Sinha, A. (2004). *Location, Location, Location and Location. Facility location incorporating demand uncertainty, logistic network design, product heterogeneity and competition*. Pennsylvania: Carnegie Mellon University.
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP] (2019). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Ciudad de México: SAGARPA.
- Toledo, V. M. (1978, 1 de noviembre). Uxpanapa: ecocidio y capitalismo en el trópico. *Nexos*. Recuperado de <http://www.nexos.com.mx/?p=3236>
- Torres Fragoso, J. (2017). El Corredor del Istmo de Tehuantepec: de los proyectos fallidos a la nuevas posibilidades para su desarrollo. *Espacios Públicos*, 20(48), 127-149.
- Torres Fragoso, J. (2020). Las zonas económicas especiales en México: de política pública a proyecto derogado. *Hallazgos*, 17(35), 157-183. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/hall/v17n34/1794-3841-hall-17-34-00157.pdf>
- Torres Torres, F. y Gasca Zamora, J. (2004). El Plan Puebla-Panamá. Una perspectiva del desarrollo regional en el contexto de los procesos de la economía mundial. *Problemas del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 35(138), 33-56. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/118/11825948003.pdf>
- Vázquez Barquero, A. (1987). Local development and the regional state in Spain. *Paper of the regional science association*, 61, 65-78.



Capítulo 7. Secuenciación de trabajos en una línea de SMT con enfoque multiobjetivo

Juan Pablo Horn Gallardo*
Elías Olivares Benítez**
Omar Rojas***

Introducción

La industria electrónica mexicana se ha ido consolidando hasta convertirse en uno de los sectores primordiales del país. México es uno de los principales países exportadores y ensambladores del mundo; en él se ubican nueve de las diez principales empresas transnacionales de servicio de manufactura, por lo que México se ha posicionado como un importante destino de inversión.

* Universidad Panamericana, Facultad de Ingeniería, 0170875@up.edu.mx

** Universidad Panamericana, Facultad de Ingeniería, colivaresb@up.edu.mx

*** Universidad Panamericana, Facultad de Ingeniería, orojas@up.edu.mx

En general, los productos electrónicos están formados por Ensamblajes de Circuitos Impresos, también conocidos como PCA (Printed Circuit Assemblies, en inglés), componentes mecánicos (pueden ser metálicos y/o plásticos, como tapas, soportes, teclados, marcos de pantalla, bases, chasis, entre otros), material impreso (como etiquetas y manuales de servicio) y material de empaque. Los PCA están conformados por componentes electrónicos, *software* embebido, circuitos impresos y componentes eléctricos.

La empresa analizada pertenece al mercado de la electrónica, pero está en el segmento de medio-bajo volumen, alta complejidad y mezcla, y es parte de las Electronics Manufacturing Services (EMS). EMS es un término utilizado para describir a compañías que diseñan, producen, prueban, distribuyen y ofrecen servicio postventa. Todo esto lo hacen para las Original Equipment Manufacturer (OEM). Los sectores en los cuales se desarrolla la empresa son los siguientes:

- Salud y ciencias de la vida.
- Industrial y comercial.
- Comunicaciones.
- Aeroespacial y defensa.

La empresa usa procesos de Tecnología de Montaje Superficial (SMT, por las siglas en inglés de Surface Mount Technology). La empresa maneja un modelo Make to Order, lo cual significa que no comienza a producir un producto hasta que el cliente haya hecho un pedido de un ensamble (o una mezcla de ensambles) en específico. El cliente envía por adelantado su demanda por medio de un pronóstico, el cual elabora para un periodo determinado, para que así la empresa pueda llevar a cabo la compra o la colocación de órdenes para los materiales necesarios para su producción.

Ya que la manera de trabajar de la empresa es por medio de un sistema Make to Order, el proceso de producción comienza después de recibir la orden de compra del cliente. Sabiendo los requerimientos del cliente, el planeador de la producción analiza que el producto no presente escasez de materiales. Si se tienen todos los materiales necesarios para llevar a cabo la orden se considera que la orden está Clear To Build (CTB) y se le asigna un espacio dentro del plan de la producción (al igual de capacidad) de la planta y se le notifica al cliente una fecha de compromiso para dicho pedido. De otra manera, en caso de que

el pedido del cliente presente escasez, se le notifica al cliente el estado del material y se programa una fecha tentativa de entrega en función de la llegada del material. Para cuestiones de practicidad, sólo se analizaron productos los cuales se encontrarán CTB, ya que si no se cumplió el compromiso del cliente porque algún material no llegó cuando se tenía contemplado o este presentó una escasez en el mercado, estas situaciones quedan fuera del alcance de este trabajo. El estudio se concentró principalmente en el sector industrial comercial de la empresa.

Hoy en día la empresa presenta problemas cumpliendo con el On Time Delivery (OTD). El OTD es un métrico que mide la relación de trabajos comprometidos con el cliente y trabajos entregados a tiempo (en su totalidad, lo que implica que sólo se considera que una entrega está completa hasta que todas las unidades del pedido son entregadas al cliente). La empresa tiene como objetivo lograr un OTD de 80% o mayor para todos los compromisos que haga con el cliente. Esta medición se hace semana con semana. Ocasionalmente la empresa tiene problemas para llegar a dicha meta; estos problemas son causados por malas prácticas en la planeación de la producción, lo cual se convierte en un efecto dominó semana con semana. Al no poder completar un pedido una semana, se pasa a la siguiente semana el remanente de la orden y claramente esto les quita tiempo a los compromisos de la semana en curso.

El OTD es un métrico sumamente importante para cualquier empresa manufacturera, ya que este simboliza la imagen que una empresa muestra al cliente. Si se tiene un OTD muy bajo significa que la empresa está constantemente fallando los compromisos hechos con nuestros clientes, lo cual podría llegar a causar que se terminen las relaciones existentes. De igual manera, si constantemente se incumplen los compromisos del cliente, esto tiene repercusiones económicas negativas sobre la empresa. Como ya mencionamos, existe la posibilidad de perder a los clientes, pero no sólo eso, ya que los costos de inventarios suelen afectar financieramente a la empresa por cada día que se tengan parados tanto los productos terminados como la misma materia prima de las ordenes incompletas.

Un factor muy importante que se tiene que tomar en cuenta, ya que limita el proceso de producción, es la capacidad instalada de la planta. Esto es un problema porque hay veces que los proyectos (orden-producto por cliente) terminan compartiendo líneas de producción entre sí, lo cual complica un poco la secuenciación de los trabajos dentro de las líneas. Lo que un planeador acabe

metiendo al plan de producción tendrá que estar en función de la asignación del tiempo dentro del turno. La empresa trabaja tres turnos de lunes a sábado.

El trabajo se conformará de la siguiente manera: en la siguiente sección de describirá la revisión de la literatura; se hablará un poco de la historia de este tipo de problemas al igual de como otros autores han abordado en problema para escenarios similares al que se estudia en este trabajo. Después, en la sección de métodos, se describirán los modelos matemáticos que representan el problema y se explicará cómo se llevó a cabo el trabajo, incluyendo los datos utilizados para resolverlos. Posteriormente se mostrarán los resultados y su discusión, y finalmente la sección de conclusiones.

Fundamentación teórica

Desde la revolución industrial, la manera en que la humanidad ha desarrollado la manufactura ha crecido de manera exponencial. Desde la creación de la línea de producción por parte de Henry Ford para la producción del modelo T en el año 1908, hasta la industria 4.0. Hoy en día las técnicas de manufactura son tan sofisticadas que es posible saber con exactitud los tiempos de procesamiento que un producto requiere en cierto proceso o si es que estos siguen una distribución de probabilidad. Esto a su vez, hace posible hacer cálculos matemáticos para saber cuál secuencia de trabajos resulta ser la mejor dependiendo del métrico que se desee medir. A este tipo de modelos se les denomina modelos de programación de líneas de flujo. Estos modelos han ido evolucionando desde su primera introducción por Johnson (1954), en el cual analizó el comportamiento de una línea de producción con dos máquinas utilizando diferentes objetivos o métodos de solución para encontrar sus objetivos. A continuación, se presentará algunos de los métodos que se han ido creando para la solución de los problemas de programación de línea.

Los problemas clásicos de programación de líneas de flujo existentes en la literatura al día de hoy se concentran principalmente en generar una secuencia de trabajos en un ambiente determinístico y estático (Liu, Wang *et al.*, 2017). El problema de programación de líneas de flujo y sus variaciones han sido resueltas mediante un gran número de métodos. De igual manera, este problema tiene una gran variedad de objetivos los cuales con las correctas adaptaciones se pueden llegar a cumplir. A continuación, se explicarán principalmente los

siguientes objetivos: minimización del tiempo total de procesamiento, minimización de la tardanza máxima y minimización del número de los trabajos tardíos. Y algunas otras variaciones las cuales han aplicado otros autores anteriormente.

El primer objetivo es el de la minimización del tiempo máximo de procesamiento. Este objetivo consiste en hacer que el número total de trabajos haga el menor tiempo posible en ser procesados en todas las máquinas. Por eso se define al tiempo máximo de procesamiento como el tiempo de terminación del último trabajo en la última máquina. Johnson (1954) resolvió un problema de n trabajos y dos máquinas para minimizar el tiempo máximo de procesamiento. Este trabajo es considerado el más importante para los problemas de programación de líneas de flujo, ya que al pasar los años se ha adaptado para resolver problemas de n trabajos y m máquinas, tal como se aplicó en este trabajo. Lin y Ying (2016) propusieron dos metaheurísticas para optimizar el tiempo máximo de procesamiento para problemas de programación de línea que involucraban un esquema sin esperas. Nagano y Araújo (2013) abordan el problema de secuenciación de trabajos sin espera y con tiempos de procesamiento dependientes a la secuencia para minimizar el tiempo máximo de procesamiento. Campbell *et al.* (1970) introdujeron lo que ahora se conoce como el algoritmo CDS (Campbell, Dudek, Smith), el cual es una de las primeras heurísticas creadas que minimizaran el tiempo máximo de procesamiento. Nawaz *et al.* (1983) proponen una heurística la cual se llama NEH (Nawaz, Enscore, Ham) que utiliza el algoritmo más eficiente para la minimización del tiempo máximo de procesamiento, según Ruiz y Maroto (2005). Lee *et al.* (2019) propusieron un método que aplicaba un algoritmo voraz para la minimización del tiempo máximo de procesamiento en un enfoque de programación en línea. Soewanda *et al.* (2007) abordaron el problema con algoritmo genético híbrido para minimizar el tiempo máximo de procesamiento. Framinan *et al.* (2019) analizaron un sistema multietapas de producción en el cual podría haber una reorganización de los trabajos en cualquier punto de la producción los cuales tienen un tiempo de procesamiento variable. Claramente, al alterar la secuencia de los trabajos se altera el tiempo máximo de procesamiento. Liu, Jin y Price (2017) abarcan el problema de reordenar nuevas órdenes entrantes. Han *et al.* (2011) aplicaron un Discrete Artificial Bee Colony (DABC) y un Blocking Flow Shop (BFS). Cheng *et al.* (2014) consideraron trabajos dependientes del tiempo los cuales se deterioraban.

El segundo objetivo es el de la minimización de la máxima tardanza. Este objetivo se encarga de que el trabajo que llega más tarde en la secuencia minimice su tardanza. Esto conlleva que en cierto modo el algoritmo actúe similar al del tiempo máximo de procesamiento. Chang *et al.* (2007) definieron un Mining Gene on Sub-Population Genetic Algorithm (MGSPGA) para compararlo con un Sub-Population Genetic Algorithm (SPGA), el cual tenía como objetivo ambos: el tiempo máximo de procesamiento y la tardanza máxima. Hamdi y Loukil (2014) abordaron el problema de permutación con ambos, el mínimo y el máximo retraso utilizando el criterio de la tardanza total. Li *et al.* (2018) estudiaron un problema de programación de líneas de flujo que se concentraba en las fechas de entrega, el cual tenía como objetivo minimizar ambos el costo de las entregas tardías como de las entregas que se entregaran antes del tiempo acordado. Este es un caso interesante ya que muchas veces en la industria por más que la empresa manufacturera pueda llegar a tener listos los requerimientos del cliente antes de la fecha programada, es posible que el cliente no pueda recibir el pedido antes de la fecha acordada, lo cual incurre un costo para la empresa manufacturera. Cheng (1991) consideró un problema con una máquina para la asignación de días de entrega con tiempos de procesamiento estocásticos, cuyo objetivo era minimizar el costo de las penalizaciones por entregar antes o después los pedidos. Li *et al.* (2010) y Li *et al.* (2011) propusieron modelos con un ambiente difuso, en el cual los tiempos de procesamiento eran presentados como variables difusas con el objetivo de minimizar el costo de las llegadas prontas y tardías de los trabajos. Liu *et al.* (2013) desarrollaron seis diferentes heurísticas para resolver un problema de programación de líneas de flujo sin esperas, utilizando la tardanza total como criterio al igual que el algoritmo NEH. Kalman *et al.* (2019) estudiaron un problema de secuenciación en una fábrica de muebles que buscaba minimizar el tiempo máximo de flujo y la tardanza, usando un algoritmo genético y un modelo de programación matemática.

Finalmente, nuestro tercer último objetivo es el de minimizar el número de trabajos tardíos. Este objetivo hace uso de las fechas de entrega de los trabajos para así realizar la secuenciación de tal forma que el número de trabajos que no cumplen con su fecha de entrega sea menor. Dhouib *et al.* (2013) consideraron un algoritmo de recocido simulado para minimizar ambos el tiempo máximo de procesamiento y el número de trabajos tardíos. Lee *et al.* (1991) realizaron un estudio donde trató de minimizar el número de trabajos tardíos y la ponderación de las llegadas tempranas y tardías de trabajos con fechas de entrega iguales.

Todos los objetivos mencionados anteriormente pueden ser utilizados dentro del modelo de Sawik (2011), pero en este trabajo se decidió abordar el dilema con un problema multiobjetivo que engloba los tres objetivos (tiempo de flujo máximo, tardanza máxima y número de trabajos tardíos).

Murata *et al.* (1996) y Toktas *et al.* (2004) consideran que, si bien los problemas monoobjetivo son muy útiles, los problemas multiobjetivo son más realistas. Daniels y Chambers (1990), Marichelvam y Geetha (2014), Rahimi-Vahed *et al.* (2008) y Murata *et al.* (1996) también opinan que los problemas multiobjetivo se adaptan mejor a los problemas de la industria actual. Normalmente los objetivos de problemas multiobjetivo son conflictivos entre sí, esto quiere decir que es difícil que todos los objetivos se cumplan (Murata *et al.*, 1996). En otras palabras, son mutuamente excluyentes. Según Rahimi-Vahed *et al.* (2008), la forma general de una función multiobjetivo de minimización con p variables de decisión y q objetivos se puede escribir de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar } y=f(x)=(f_1(x), f_2(x), \dots, f_q(x))$$

donde $x \in R^p$, $y \in R^q$.

Collette y Siarry (2004) clasificaron los métodos multiobjetivo de la siguiente manera:

1. Métodos Borrosos.
2. Métodos de Ayuda a la Decisión.
3. Métodos Escalares.
4. Métodos Interactivos
5. Métodos que Utilizan Metaheurísticas.

Danneberg *et al.* (1999) atacaron el problema de programación de líneas de flujo biobjetivo con esperas con tiempos de preparación y trabajos particionados en grupos o familias. Propusieron el tiempo máximo de procesamiento al igual que la suma ponderada de los tiempos de terminación de los trabajos. Ponnambalam *et al.* (2004) propusieron un algoritmo del agente viajero de la mano de un algoritmo genético para optimizar la suma ponderada del tiempo máximo de procesamiento, el tiempo promedio de flujo y los tiempos ociosos de las máquinas. Loukil *et al.* (2005) propusieron un algoritmo recocido

simulado multiobjetivo para optimizar la producción en varios escenarios; estos escenarios eran escenarios con problemas una máquina, con máquinas paralelas y con problemas de permutaciones. También propusieron varias funciones objetivo, las cuales fueron: tiempo de terminación promedio ponderado, la tardanza promedio ponderada, la precocidad promedio ponderada, tiempo máximo de procesamiento, máxima tardanza, máxima precocidad y el número de los trabajos tardíos. Murata *et al.* (1996) abordaron un problema con tres objetivos: minimizar el tiempo máximo de procesamiento, minimizar la tardanza total y minimizar el tiempo total de flujo. Chang *et al.* (2007) estudiaron el caso de algoritmos genéticos de subpoblaciones. Propusieron varios métodos que pretendían mejorar el proceso de minar los cromosomas. Zelazny y Pempera (2015) propusieron una búsqueda tabú paralela para un problema biobjetivo de secuenciación. También menciona que los problemas multiobjetivo son principalmente resueltos por métodos evolutivos. Marichelvam y Geetha (2014) propusieron un algoritmo de luciérnaga discreto triobjetivo el cual minimizaba los siguientes objetivos: tiempo máximo de procesamiento, tiempo máximo de flujo y el tiempo ocioso de las máquinas dentro de un esquema de multietapas. Jungwattanakit *et al.* (2009) formularon un algoritmo entero mixto para resolver problemas de programación de líneas de flujo flexibles. Su objetivo fue minimizar el tiempo máximo de procesamiento y la suma de las tardanzas y llegadas prontas. Behnamian y Fatemi Ghomi (2011) aplicaron un algoritmo genético híbrido para minimizar el tiempo máximo de procesamiento y la asignación total de los recursos. Daniels y Chambers (1990) realizaron un algoritmo que se concentraba en optimizar la máxima tardanza y el tiempo máximo de procesamiento. Guinet y Solomon (1996) compararon varias heurísticas para ver cuál tenía un mejor resultado minimizando la máxima tardanza o el tiempo máximo de procesamiento.

Metodología

El problema se planea resolver utilizando una adaptación del modelo de programación de líneas de flujo de Sawik (2011). Este modelo tiene como función objetivo minimizar los siguientes propósitos: el tiempo total de procesamiento, la tardanza máxima y el número de trabajos tardíos. Se estará analizando el comportamiento del flujo de trabajos en una línea de producción durante una

semana, la cual tuvo un desempeño debajo de 80%. Esto, con el fin de lograr un modelo que pueda llevar a cabo la planeación de los trabajos que pasen por esa línea. Se compararán los resultados obtenidos con el modelo matemático a los resultados reales de dicha semana. Teniendo éxito con lo anterior, se replicará el procedimiento en las demás líneas de producción. Ya que contando con un solo modelo para toda la planta, complica la solución del problema bastante, y dividiendo el problema en instancias por línea facilita su solución. La dificultad de resolución de los problemas de programación de línea de flujo es del orden: $(n!)^m$, donde n representa el número de trabajos a secuenciar y m representa el número de máquinas o procesos por los que tienen que pasar los trabajos. Por lo mismo, el número de productos y familias por analizar sigue por definirse, ya que aún no se sabe cuál sería un número conveniente de productos y/o familias (que se procesen por la misma línea) para analizar.

Utilizando el ejemplo de la semana debajo de 80% de OTD, se analizará si es posible minimizar el número de trabajos tardíos, dándole preferencia a los remanentes de semanas anteriores, y tratar que la inserción de estos trabajos no perjudique el desempeño del flujo de los trabajos de la semana actual.

En este trabajo se tuvieron las siguientes consideraciones:

1. El número de máquinas es conocido y fijo.
2. El número de trabajos y sus tiempos de procesamiento en cada máquina es conocido.
3. Todos los trabajos están disponibles en el tiempo igual a cero.
4. Los tiempos de preparación están incluidos dentro de los tiempos de procesamiento y son independientes de la secuencia.
5. Cada máquina puede procesar sólo un trabajo a la vez.
6. Algunos trabajos no pasan por alguna de las máquinas. Para estos trabajos el tiempo de procesamiento en dichas máquinas es igual a cero.

El modelo utilizado en este trabajo fue evolucionando conforme a los resultados que fue presentando para la instancia utilizada. Por lo que la función objetivo del modelo al igual que algunas restricciones fueron cambiando con el tiempo. Al principio se quería optimizar sólo el tiempo máximo de procesamiento y la máxima tardanza. Después, al ver que los resultados obtenidos no eran tan buenos se decidió por trabajar con una función objetivo la cual minimizaba el tiempo máximo de procesamiento y la sumatoria de

las tardanzas de los trabajos. De nuevo parecía que los resultados obtenidos con este segundo modelo tampoco eran tan buenos, por lo que se llegó al último modelo triobjetivo que trata de minimizar los siguientes tres objetivos: el tiempo máximo de procesamiento, la máxima tardanza y el número de trabajos tardíos. A continuación, se presentan las tres versiones del modelo para mostrar cómo fue evolucionando el modelo. Los modelos se implementaron en lenguaje de optimización AMPL, con motor de optimización GUROBI, y para la instancia estudiada se resolvieron en tiempos menores a una hora, considerando la construcción completa de los frentes de Pareto, en una computadora con procesador Intel Core i7-1165G7 @ 2.80GHz, 32 Gb RAM.

Modelo 1

Este modelo tiene como función objetivo minimizar el flujo máximo de los trabajos (el tiempo total de procesamiento) y la tardanza máxima de todos los trabajos. El modelo se presenta de la siguiente manera:

Índices

i = Proceso, $i \in I = \{1, \dots, m\}$

j = Trabajo en proceso $j \in J_i = \{1, \dots, n\}$

Parámetros

m = Número de procesos

n = Número de trabajos

p_{ik} = Tiempo de procesamiento del trabajo k en el proceso i

Q = Coeficiente positivo grande (Big M)

D_j = Fecha de entrega del trabajo j

α = ponderación para la métrica

Factor = Número positivo que sirve para que las métricas se encuentren en la misma magnitud

Variables de decisión

c_{ik} = Tiempo de finalización del trabajo k en el proceso i

y_{kl} = 1, si el trabajo k precede al trabajo l en la secuencia de trabajos; o en otro caso

C_{MAX} = Máximo tiempo de flujo de cualquier trabajo en la última máquina.

L_{MAX} = Máximo retardo de cualquier trabajo.

La función objetivo del modelo y sus restricciones se presentan a continuación:

$$\text{Minimizar } z = \text{Factor} \cdot \alpha \cdot C_{MAX} + (1-\alpha) \cdot L_{MAX} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$c_{ik} \geq p_{ik}, \quad k \in K, \quad (2)$$

$$c_{ik} - c_{i-1k} \geq p_{ik}, \quad i \in I, k \in K: i > 1, \quad (3)$$

$$c_{ik} + Qy_{kl} \geq c_{il} + p_{ik}, \quad i \in I; k, l \in K: i < l, \quad (4)$$

$$c_{il} + Q(1 - y_{kl}) \geq c_{ik} + p_{il}, \quad i \in I; k, l \in K: i < l, \quad (5)$$

$$c_{ik} \leq C_{MAX}, \quad i \in I, k \in K, \quad (6)$$

$$c_{ik} - D_j \leq L_{MAX}, \quad i \in I, k \in K, \quad (7)$$

$$y_{kl} + y_{lk} = 1, \quad \forall k \neq l, \quad (8)$$

$$y_{kl} = 0, \quad \forall k = l, \quad (9)$$

$$C_{MAX} \geq 0, \quad (10)$$

$$L_{MAX} \in \mathbb{R}, \quad (11)$$

$$c_{ik} \geq 0, \quad i \in I, k \in K, \quad (12)$$

$$y_{kl} \in \{1, 0\}, \quad k, l \in K: k < l. \quad (13)$$

La función objetivo (1) expresa la minimización del tiempo máximo de flujo (el tiempo total de procesamiento) y de la tardanza máxima de los trabajos. Las restricciones (2) y (3) nos indican que todos los trabajos tienen que pasar por todas las máquinas. Las restricciones (4) y (5) previenen que dos trabajos no pueden ser procesados simultáneamente en la misma máquina. La restricción (6) nos muestra que la duración total de la secuencia será el tiempo de flujo del último trabajo en la última máquina. La restricción (7) permite calcular la tardanza máxima que presenten los trabajos. La restricción (8) asegura que los trabajos aparezcan sólo una vez en la secuencia. La restricción (9) da valor de cero para las variables que presenten valores iguales de k y l . Las restricciones (10), (11) (12) y (13) indican la naturaleza de las variables.

Modelo 2

Este modelo tiene como función objetivo minimizar el flujo máximo de los trabajos (el tiempo total de procesamiento) y la sumatoria de las tardanzas de todos los trabajos. El modelo se ve de la siguiente manera:

Índices

i = Proceso, $i \in I = \{1, \dots, m\}$

j = Trabajo en proceso $j \in J_i = \{1, \dots, n\}$

Parámetros

m = Número de procesos

n = Número de trabajos

p_{ik} = Tiempo de procesamiento del trabajo k en el proceso i

Q = Coeficiente positivo grande (Big M)

D_j = Fecha de entrega del trabajo j

α = ponderación para la métrica

Factor = Número positivo que sirve para que las métricas se encuentren en la misma magnitud

Variables de decisión

c_{ik} = Tiempo de finalización del trabajo k en el proceso i

L_k = Tardanza del trabajo k

$y_{kl} = 1$, si el trabajo k precede al trabajo l en la secuencia de trabajos; o en otro caso.

La función objetivo del modelo y sus restricciones se presentan a continuación:

$$\text{Minimizar } z = \alpha \cdot C_{MAX} + \text{Factor} \cdot (1 - \alpha) \sum_{k=1}^n L_k \quad (14)$$

Sujeto a:

$$c_{ik} \geq p_{ik}, \quad k \in K, \quad (15)$$

$$c_{ik} - c_{i-1k} \geq p_{ik}, \quad i \in I, k \in K: i > 1, \quad (16)$$

$$c_{ik} + Qy_{kl} \geq c_{il} + p_{ik}, \quad i \in I; k, l \in K: i < l, \quad (17)$$

$$c_{il} + Q(1 - y_{kl}) \geq c_{ik} + p_{il}, \quad i \in I; k, l \in K: i < l, \quad (18)$$

$$c_{ik} \leq CMAX, \quad i \in I, k \in K, \quad (19)$$

$$c_{ik} - D_j \leq L_k, \quad i \in I, k \in K \quad (20)$$

$$y_{kl} + y_{lk} = 1, \quad \forall k \neq l, \quad (21)$$

$$y_{lk} = 0, \quad \forall k = l, \quad (22)$$

$$CMAX \geq 0, \quad (23)$$

$$L_k \in \mathbb{R}, \quad k \in K, \quad (24)$$

$$c_{ik} \geq 0, \quad i \in I, k \in K, \quad (25)$$

$$y_{kl} \in \{1, 0\}, \quad k, l \in K: k < l. \quad (26)$$

La función objetivo (14) expresa la minimización del tiempo máximo de flujo (el tiempo total de procesamiento) y de la sumatoria de las tardanzas de los trabajos. Las restricciones (15) y (16) nos indican que todos los trabajos tienen que pasar por todas las máquinas. Las restricciones (17) y (18) previenen que dos trabajos no pueden ser procesados simultáneamente en la misma máquina. La restricción (19) nos muestra que la duración total de la secuencia será el tiempo de flujo del último trabajo en la última máquina. La restricción (20) nos muestra las tardanzas de todos los trabajos. La restricción (21) asegura que los trabajos aparezcan sólo una vez en la secuencia. La restricción (22) da valor de cero para las variables que presenten valores iguales de k y l . Las restricciones (23), (24), (25) y (26) indican la naturaleza de las variables.

Modelo 3

Este modelo tiene como función objetivo minimizar el flujo máximo de los trabajos (el tiempo total de procesamiento), la tardanza máxima de todos los trabajos y el número de trabajos tardíos. El modelo se presenta de la siguiente manera:

Índices

i = Proceso, $i \in I = \{1, \dots, m\}$

j = Trabajo en proceso $j \in J_i = \{1, \dots, n\}$

Parámetros

m = Número de procesos

n = Número de trabajos

p_{ik} = Tiempo de procesamiento del trabajo k en el proceso i
 Q = Coeficiente positivo grande (Big M)
 Q_2 = Coeficiente positivo grande (Big M)
 D_j = Fecha de entrega del trabajo j
 α_r = ponderación para la métrica
 $Factor_r$ = Número positivo que sirve para que las métricas r , se encuentren en la misma magnitud

VARIABLES DE DECISIÓN

c_{ik} = Tiempo de finalización del trabajo k en el proceso i
 L_k = Tardanza del trabajo k
 $y_{kl} = 1$, si el trabajo k precede al trabajo l en la secuencia de trabajos; o en otro caso
 $N_k = 1$, si el trabajo k tiene una tardanza positiva; o en otro caso
 C_{MAX} = Máximo tiempo de Flujo de cualquier trabajo en la última máquina.
 L_{MAX} = Máximo retardo de cualquier trabajo.

La función objetivo del modelo y sus restricciones se presentan a continuación:

$$\text{Minimizar } z = \frac{\alpha_1 \cdot C_{MAX}}{Factor_1} + \frac{\alpha_2 \cdot L_{MAX}}{Factor_2} + \frac{\alpha_3 \cdot \sum_{k=1}^n N_k}{Factor_3} \quad (27)$$

Sujeto a:

$$c_{ik} \geq p_{ik}, \quad k \in K, \quad (28)$$

$$c_{ik} - c_{i-1k} \geq p_{ik}, \quad i \in I, k \in K: i > 1, \quad (29)$$

$$c_{ik} + Qy_{kl} \geq c_{il} + p_{ik}, \quad i \in I; k, l \in K: i < l, \quad (30)$$

$$c_{il} + Q(1 - y_{kl}) \geq c_{ik} + p_{il}, \quad i \in I; k, l \in K: i < l, \quad (31)$$

$$c_{ik} \leq C_{MAX}, \quad i \in I, k \in K, \quad (32)$$

$$c_{ik} - D_j \leq L_{MAX}, \quad i \in I, k \in K, \quad (33)$$

$$L_k \leq Q_2 * N_k, \quad k \in K, \quad (34)$$

$$y_{kl} + y_{lk} = 1, \quad \forall k \neq l, \quad (35)$$

$$y_{kl} = 0, \quad \forall k = l, \quad (36)$$

$$C_{MAX} \geq 0, \quad (37)$$

$$L_{MAX} \in \mathbb{R}, \quad (38)$$

$$c_{ik} \geq 0, \quad i \in I, k \in K, \quad (39)$$

$$y_{kl} \in \{1, 0\}, \quad k, l \in K: k < l, \quad (40)$$

$$L_k \in \mathbb{R}, \quad k \in K, \quad (41)$$

$$N_k \in \{1, 0\}, \quad k \in K. \quad (42)$$

La función objetivo (27) expresa la minimización de la sumatoria del tiempo máximo de flujo (el tiempo total de procesamiento), la tardanza máxima de todos los trabajos y el número de trabajos tardíos. Las restricciones (28) y (29) nos indican que todos los trabajos tienen que pasar por todas las máquinas. Las restricciones (30) y (31) previenen que dos trabajos no pueden ser procesados simultáneamente en la misma máquina. La restricción (32) nos muestra que la duración total de la secuencia será el tiempo de flujo del último trabajo en la última máquina. La restricción (33) nos muestra las tardanzas de todos los trabajos. La restricción (34) activa un indicador binario si el trabajo presenta tardanza positiva. La restricción (35) asegura que los trabajos aparezcan sólo una vez en la secuencia. La restricción (36) da valor de cero para las variables que presenten valores iguales de k y l . Las restricciones (37), (38), (39), (40), (41) y (42) indican la naturaleza de las variables.

Instancia

El estudio se llevó a cabo en una sola línea de producción la cual estaba compuesta por 33 procesos diferentes. Los procesos están acomodados de manera secuencial, sin flujos paralelos. En el estudio se analizó una semana en específico la cual contaba con ocho trabajos asignados para la línea. A los trabajos se les asignó un ID para este estudio (Q1, G4, B4, G1, N4, F1, J1, F4). La información sobre la demanda y los tiempos de procesamiento de cada trabajo en cada máquina se puede observar en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Tiempos de procesamiento del trabajo en la máquina (en segundos)

Máquina\ Trabajo	F ₁	G ₁	J ₁	Q ₁	B ₄	F ₄	G ₄	N ₄
SF1	0	0	0	34.440	0	0	0	176.400
QAS	40.262	39.144	78.288	5.520	72.226	15.670	14.774	13.112
PK1	18.144	17.640	35.280	1.464	59.894	8.791	4.925	61.740
SMA	19.354	18.816	37.632	0	73.987	14.906	5.443	2.352
MV1	107.136	10.416	20.832	0	22.901	5.733	2.851	1.176
SMB	26.093	25.368	0	0	0	0	0	0
MV2	20.218	19.656	0	0	0	0	0	0
RO1	11.059	10.752	21.504	0	45.802	11.466	5.443	0
PTH	14.170	13.776	0	0	31.709	14.524	8.035	15.288
WV1	5.875	5.712	0	0	12.331	2.675	1.555	2.352
PW1	23.155	22.512	0	0	24.662	10.702	2.851	41.160
IF1	0	336.000	0	0	125.074	37.456	10.368	0
WS1	0	3.024	0	0	26.424	4.969	3.888	0
WI1	0	2.520	0	0	22.901	3.440	12.960	0
BP1	0	6.720	0	0	61.656	14.906	7.776	0
BP2	0	5.880	0	0	42.278	14.906	3.888	0
FI1	0	18.312	0	0	110.981	48.539	1.814	0
F1	0	0	8.400	0	0	0	0	0
MM1	0	6.888	0	0	61.656	3.058	0	0
CC1	0	3.528	0	0	35.232	76.440	2.592	0
CC2	0	8.400	0	0	81.034	17.581	5.184	0
FI2	0	18.312	0	0	110.981	48.539	1.814	0
MI1	0	0	65.184	0	84.557	74.147	0	0
SS1	0	0	49.056	0	100.411	0	0	0
SI1	0	0	99.456	0	61.656	0	0	0
QA1	0	0	78.288	0	0	0	0	0
LL1	0	0	0	59.880	0	0	0	22.932
DP1	0	0	0	0	0	0	0	11.760
QV1	0	0	0	0	410.453	0	0	0

<i>Máquina\ Trabajo</i>	<i>F₁</i>	<i>G₁</i>	<i>J₁</i>	<i>Q₁</i>	<i>B₄</i>	<i>F₄</i>	<i>G₄</i>	<i>N₄</i>
HC1	0	0	0	0	0	19.874	16.330	0
LP1	0	0	0	0	0	0	0	29.400
PO1	0	0	0	0	0	0	0	92.904
FI4	0	0	0	0	0	0	0	137.004

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Demanda por trabajo (en unidades)

<i>Trabajo</i>	<i>Demanda</i>
F ₁	288
G ₁	280
J ₁	560
Q ₁	200
B ₄	2936
F ₄	637
G ₄	432
N ₄	980

Fuente: elaboración propia.

Resultados y discusión

El modelo con el cual se obtuvo un mejor resultado fue el modelo 3, ya que presentaba el menor número de trabajos tardíos. Además, se hicieron todas las corridas necesarias para ver cómo se comportaba el modelo si ponderábamos las tres métricas. Para obtener el frente de Pareto, lo que se hizo fue darles una ponderación entre 0 y 1 a cada métrica de tal manera que en conjunto sumaran uno. Después se limpió la lista haciendo comparaciones entre cada ponderación para concluir cuáles de todas las ponderaciones dieron los mejores resultados (soluciones no-dominadas). Los resultados se pueden ver en la Tabla 3. La columna de *Alfas* muestra la ponderación de cada métrica. La columna de *Cmax* muestra el tiempo máximo de flujo, la columna de *Lmax*

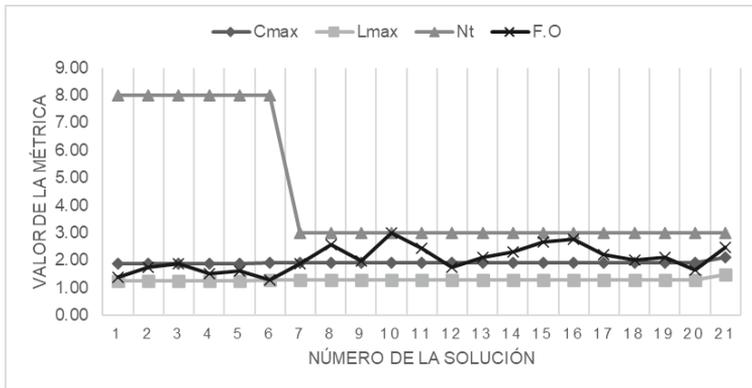
muestra la tardanza máxima de todos los trabajos, y la columna de Nt muestra el número de trabajos tardíos. La columna de $F.O.$ muestra la ponderación de las tres métricas anteriores de acuerdo con los valores de alfa, y a los factores aplicados. Se pueden ver los comportamientos de los tres objetivos de manera gráfica para cada ponderación en las Figuras 1 y 2.

Tabla 3. Soluciones no-dominadas con el Modelo 3

Número de la solución	Alfas	C_{max}	L_{max}	Nt	$F.O.$	Secuencia
1	0.2, 0.8, 0	1.8683172	1.2635172	8	1.3844772	G4-F4-J1-N4-B4-G1-F1-Q1
2	0.8, 0.2, 0	1.8683172	1.2635172	8	1.7473572	G4-J1-F4-N4-B4-Q1-G1-F1
3	1, 0, 0	1.8683172	1.2635172	8	1.8683172	G4-F4-N4-B4-Q1-J1-G1-F1
4	0.4, 0.6, 0	1.8683172	1.2635172	8	1.5054372	F4-G4-N4-B4-G1-J1-Q1-F1
5	0.6, 0.4, 0	1.8683172	1.2635172	8	1.6263972	G4-F4-N4-B4-Q1-J1-F1-G1
6	0, 1, 0	1.8987618	1.2939618	8	1.2939618	N4-G4-F4-B4-Q1-J1-G1-F1
7	0.4, 0.4, 0.2	1.9027572	1.2979572	3	1.88028576	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
8	0.4, 0, 0.6	1.9027572	1.2979572	3	2.56110288	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
9	0, 0.6, 0.4	1.9027572	1.2979572	3	1.97877432	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
10	0, 0, 1	1.9027572	1.2979572	3	3	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
11	0.2, 0.2, 0.6	1.9027572	1.2979572	3	2.44014288	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
12	0.2, 0.6, 0.2	1.9027572	1.2979572	3	1.75932576	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
13	0.8, 0, 0.2	1.9027572	1.2979572	3	2.12220576	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
14	0, 0.4, 0.6	1.9027572	1.2979572	3	2.31918288	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
15	0, 0.2, 0.8	1.9027572	1.2979572	3	2.65959144	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
16	0.2, 0, 0.8	1.9027572	1.2979572	3	2.78055144	J1-Q1-G4-F4-F1-N4-B4-G1
17	0.4, 0.2, 0.4	1.9027572	1.2979572	3	2.22069432	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
18	0.6, 0.2, 0.2	1.9027572	1.2979572	3	2.00124576	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
19	0.2, 0.4, 0.4	1.9027572	1.2979572	3	2.09973432	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
20	0, 0.8, 0.2	1.9027572	1.2979572	3	1.63836576	J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1
21	0.6, 0, 0.4	2.0943102	1.4895102	3	2.45658612	J1-G4-Q1-F4-F1-G1-N4-B4

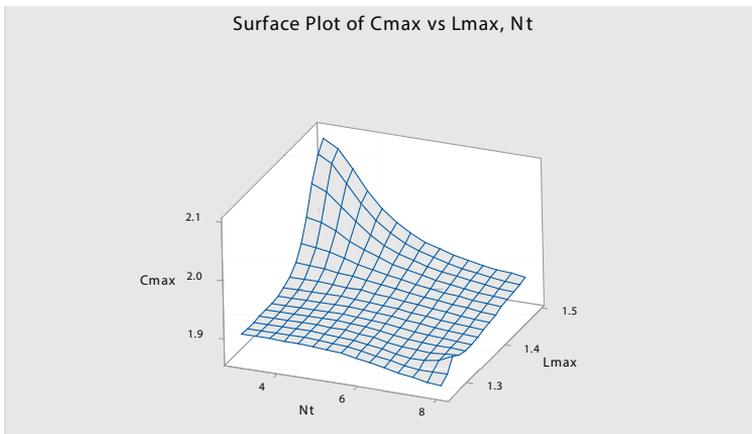
Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Comportamiento de los objetivos para cada solución no-dominada



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Comportamiento de los objetivos para cada solución no-dominada en 3 dimensiones



Fuente: elaboración propia.

Podemos ver claramente que cuando el número de trabajos tardíos no se toma en cuenta (cuando su ponderación es cero), el desempeño del modelo no es nada bueno cuando analizamos los resultados obtenidos para el número de trabajos tardíos. Por ello, aunque la función objetivo ponderada es mayor que para otras soluciones en el frente de Pareto, preferimos las soluciones 7 a

21, que muestran el menor número de trabajos tardíos. Observando la tabla podemos ver que las soluciones que dieron un mejor desempeño en el número de trabajos tardíos fueron las siguientes:

J1-G4-Q1-F4-F1-N4-B4-G1

J1-Q1-G4-F4-F1-N4-B4-G1

J1-G4-Q1-F4-F1-G1-N4-B4

Para tener una referencia de comparación, la secuencia seguida por la empresa se muestra en la Tabla 4. Esta secuencia fue calculada con un criterio de fecha de entrega más próxima, ya que la empresa trabaja bajo este esquema para intentar tener un mayor nivel de servicio a su cliente. Se puede observar que esta solución no es mejor que ninguna de las soluciones obtenidas con el modelo, por lo que sería una solución dominada. Esto demuestra la superioridad de la utilización del modelo comparado con la utilización de una regla simple de secuenciación. Comparando contra la mejor solución no-dominada, con tres trabajos tardíos, se logra reducir en 57.14% el número de trabajos tardíos, y también se reducen en menor medida el tiempo total de procesamiento (6.36%) y la máxima tardanza (9.06%).

Tabla 4. Solución adoptada por la empresa para la instancia estudiada

<i>C_{max}</i>	<i>L_{max}</i>	<i>N_t</i>	<i>F.O.</i>	<i>Secuencia</i>
2.032071	1.427271	7	10.459342	J1-F4-B4-N4-F1-Q1-G4-G1

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

En este trabajo se propuso un modelo triobjetivo, con el fin de mejorar la situación que una empresa de la industria electrónica estaba viviendo. Esta empresa estaba teniendo entregas tardías a sus clientes, resultando en un bajo nivel de servicio. Se decidió usar este modelo ya que los modelos biobjetivo que se habían planteado anteriormente no estaban arrojando buenos resultados. Los dos primeros modelos no contemplaban el número de trabajos

tardíos, por lo que podemos concluir que cuando se toma en cuenta el número de trabajos tardíos en la optimización de una línea de producción se obtienen mejores resultados.

Tras analizar los resultados que los tres modelos arrojaron, podemos concluir que el modelo matemático planteado en este trabajo logró obtener mejores resultados que los métodos utilizados actualmente por la empresa. Un caso interesante que se propone en este trabajo podría ser el hacer la programación de los trabajos considerando subensambles. Esto volvería al modelo aún más complicado de lo que ya es, pero podría llegar a dar resultados interesantes para la industria electrónica.

Con los resultados de este trabajo se propone la utilización de modelos matemáticos como el presentado en este trabajo para así poder lograr una mejor planeación de la producción en las empresas manufactureras.

Lista de referencias

- Behnamian, J. y Fatemi Ghomi, S. M. T. (2011). Hybrid flowshop scheduling with machine and resource-dependent processing times. *Applied Mathematical Modelling*, 35(3), 1107-1123. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.07.057>
- Campbell, H. G., Dudek, R. A. y Smith, M. L. (1970). A Heuristic Algorithm for the n Job, m Machine Sequencing Problem. *Management Science*, 16(10), B-630-B-637. Recuperado de <https://doi.org/10.1287/mnsc.16.10.b630>
- Chang, P., Chen, S. y Liu, C. (2007). Sub-population genetic algorithm with mining gene structures for multiobjective flowshop scheduling problems. *Expert Systems with Applications*, 33(3), 762-771. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.06.019>
- Cheng, M., Tadikamalla, P. R., Shang, J. y Zhang, S. (2014). Bicriteria hierarchical optimization of two-machine flow shop scheduling problem with time-dependent deteriorating jobs. *European Journal of Operational Research*, 234(3), 650-657. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.09.033>
- Cheng, T. C. E. (1991). Optimal assignment of slack due-dates and sequencing of jobs with random processing times on a single machine. *European*

- Journal of Operational Research*, 51(3), 348-353. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90310-r](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90310-r)
- Collette, Y. y Siarry, P. (2004). Multiobjective Optimization. En *Decision Engineering*. Springer Berlin Heidelberg. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/978-3-662-08883-8>
- Daniels, R. L. y Chambers, R. J. (1990). Multiobjective flow-shop scheduling. *Naval Research Logistics*, 37, 981-995. Recuperado de [https://doi.org/10.1002/1520-6750\(199012\)37:6<981::AID-NAV3220370617>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/1520-6750(199012)37:6<981::AID-NAV3220370617>3.0.CO;2-H)
- Danneberg, D., Tautenhahn, T. y Werner, F. (1999). A comparison of heuristic algorithms for flow shop scheduling problems with setup times and limited batch size. *Mathematical and Computer Modelling*, 29(9), 101-126. [https://doi.org/10.1016/s0895-7177\(99\)00085-0](https://doi.org/10.1016/s0895-7177(99)00085-0)
- Dhouib, E., Teghem, J. y Loukil, T. (2013). Lexicographic optimization of a permutation flow shop scheduling problem with time lag constraints. *International Transactions in Operational Research*, 20(2), 213-232. Recuperado de <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2012.00876.x>
- Framinan, J. M., Fernandez-Viagas, V. y Perez-Gonzalez, P. (2019). Using real-time information to reschedule jobs in a flowshop with variable processing times. *Computers & Industrial Engineering*, 129, 113-125. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.036>
- Guinet, A. G. P. y Solomon, M. M. (1996). Scheduling hybrid flowshops to minimize maximum tardiness or maximum completion time. *International Journal of Production Research*, 34(6), 1643-1654. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00207549608904988>
- Hamdi, I. Loukil, T. (2014). Minimizing total tardiness in the permutation flowshop scheduling problem with minimal and maximal time lags. *Operational Research*, 15(1), 95-114. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s12351-014-0166-5>
- Han, Y.-Y., Duan, J.-H y Zhang, M. (2011). Apply the discrete artificial bee colony algorithm to the blocking flow shop problem with makespan criterion. *2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, 2131-2135. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/ccdc.2011.5968558>
- Johnson, S. M. (1954). Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. *Naval Research Logistics Quarterly*, 1(1), 6168. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/nav.3800010110>

- Jungwattanakit, J., Reodecha, M., Chaovalitwongse, P. y Werner, F. (2009). A comparison of scheduling algorithms for flexible flow shop problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria. *Computers & Operations Research*, 36(2), 358-378. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cor.2007.10.004>
- Kalman, M. S., Rojas, O. G., Olivares-Benitez, E. y Nucamendi-Guillén, S. M. (2019). A MILP and Genetic Algorithm Approach for a Furniture Manufacturing Flow Shop Scheduling Problem. *Advances in Civil and Industrial Engineering*, 238-259. Recuperado de <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8223-6.ch011>
- Lee, C.-Y., Danusaputro, S. L. y Lin, C.-S. (1991). Minimizing weighted number of tardy jobs and weighted earliness-tardiness penalties about a common due date. *Computers & Operations Research*, 18(4), 379-389. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(91\)90098-c](https://doi.org/10.1016/0305-0548(91)90098-c)
- Lee, K., Zheng, F. y Pinedo, M. L. (2019). Online scheduling of ordered flow shops. *European Journal of Operational Research*, 272(1), 50-60. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.06.008>
- Li, J., Sun, K., Xu, D. y Li, H. (2010). Single machine due date assignment scheduling problem with customer service level in fuzzy environment. *Applied Soft Computing*, 10(3), 849-858. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.10.002>
- Li, J., Xu, D. y Li, H. (2018). Single Machine Due Date Assignment Scheduling Problem with Precedence Constraints and Controllable Processing Times in Fuzzy Environment. *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, 15(6), 121-143. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.22111/ijfs.2018.4371>
- Li, J., Yuan, X., Lee, E. S. y Xu, D. (2011). Setting due dates to minimize the total weighted possibilistic mean value of the weighted earliness-tardiness costs on a single machine. *Computers & Mathematics with Applications*, 62(11), 4126-4139. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2011.09.063>
- Lin, S.-W. y Ying, K.-C. (2016). Optimization of makespan for no-wait flowshop scheduling problems using efficient matheuristics. *Omega*, 64, 115-125. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.002>
- Liu, F., Wang, S., Hong, Y. y Yue, X. (2017). On the Robust and Stable Flowshop Scheduling Under Stochastic and Dynamic Disruptions. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 64(4), 539-553. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/tem.2017.2712611>

- Liu, G., Song, S. y Wu, C. (2013). Some heuristics for no-wait flowshops with total tardiness criterion. *Computers & Operations Research*, 40(2), 521-525. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.07.019>
- Liu, W., Jin, Y. y Price, M. (2017). New scheduling algorithms and digital tool for dynamic permutation flowshop with newly arrived order. *International Journal of Production Research*, 55(11), 3234-3248. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1285077>
- Loukil, T., Teghem, J. y Tuyttens, D. (2005). Solving multi-objective production scheduling problems using metaheuristics. *European Journal of Operational Research*, 161(1), 42-61. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.029>
- Marichelvam, M. K. y Geetha, M. (2014). Solving tri-objective multistage hybrid flow shop scheduling problems using a discrete firefly algorithm. *International Journal of Intelligent Engineering Informatics*, 2(4), 284. Recuperado de <https://doi.org/10.1504/ijiei.2014.067190>
- Murata, T., Ishibuchi, H. y Tanaka, H. (1996). Multi-objective genetic algorithm and its applications to flowshop scheduling. *Computers & Industrial Engineering*, 30(4), 957-968. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(96\)00045-9](https://doi.org/10.1016/0360-8352(96)00045-9)
- Nagano, M. S. y Araújo, D. C. (2013). New heuristics for the no-wait flowshop with sequence-dependent setup times problem. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 36(1), 139-151. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s40430-013-0064-4>
- Nawaz, M., Ensore, E. E. y Ham, I. (1983). A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem. *Omega*, 11(1), 91-95. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(83\)90088-9](https://doi.org/10.1016/0305-0483(83)90088-9)
- Ponnambalam, S. G., Jagannathan, H., Kataria, M. y Gadicherla, A. (2004). A TSP-GA multi-objective algorithm for flow-shop scheduling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 23(11-12). Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s00170-003-1731-x>
- Rahimi-Vahed, A. R., Javadi, B., Rabbani, M. y Tavakkoli-Moghaddam, R. (2008). A multi-objective scatter search for a bi-criteria no-wait flow shop scheduling problem. *Engineering Optimization*, 40(4), 331-346. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/03052150701732509>

- Ruiz, R. y & Maroto, C. (2005). A comprehensive review and evaluation of permutation flowshop heuristics. *European Journal of Operational Research*, 165(2), 479-494. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.04.017>
- Sawik T. (2011). *Scheduling in Supply Chains using Mixed Integer Programming*. Wiley, Hoboken, USA. ISBN 978-0-470-93573-6.
- Soewanda, J., Octavia, T. y Halim Sahputra, I. (2007). Robust-hybrid genetic algorithm for a flow-shop scheduling problem (A Case Study at PT FSCM Manufacturing Indonesia). *Jurnal Teknik Industri*, 9(2), 144-151. Recuperado de <https://doi.org/10.9744/jti.9.2.pp.%20144-151>
- Toktaş, B., Azizoglu, M. y Köksalan, S. K. (2004). Two-machine flow shop scheduling with two criteria: Maximum earliness and makespan. *European Journal of Operational Research*, 157(2), 286-295. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00192-9](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00192-9)
- Zelazny, D. y Pempera, J. (2015). Solving multi-objective permutation flowshop scheduling problem using CUDA. *2015 20th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)*, 347-352. Recuperado de <https://doi.org/10.1109/mmar.2015.7283900>



Conclusiones

Gabriela Citlalli López Torres
Salomón Montejano García
Reyes Hernández Díaz

Las principales conclusiones derivadas de las investigaciones tratadas en este libro tienen relación con la administración de operaciones para el desarrollo de micro, pequeñas, medianas y grandes empresas, de la región centro-norte de México. Con base a los resultados de las investigaciones se logró evidenciar que, para alcanzar un mayor desarrollo de las empresas, se sugiere el enfoque a los siguientes temas principalmente:

- Gestión de cadenas de suministro.
- Administración de materiales.
- Estrategias de localización de plantas.
- Secuenciación de trabajos.
- Desarrollo de indicadores de eficiencia y sustentabilidad.
- Mantener altos niveles en actividades productivas.

Entre las evidencias presentadas, se encuentran los resultados de un análisis estadístico de regresión y correlación de Pearson, de una muestra de 288 empresas en la ciudad de Aguascalientes,

México, sustentando que a mayor *gestión de cadenas de suministro* mayor *rendimiento* empresarial. Los resultados presentados demostraron que la gestión de la cadena de suministro explica 62% de los resultados de rendimiento de las empresas encuestadas. De esta manera, con los resultados presentados se sugiere la necesidad de fortalecer de manera sustancial los procesos e integración de la cadena de suministro de las empresas para fortalecer su rendimiento.

Asimismo, a través de una encuesta a 317 empresarios de Aguascalientes, México, se demostró que la *administración de materiales* altamente impacta el *control de la producción* en las empresas encuestadas. Lo anterior, al presentar un valor en R_2 de 0.585 y correlación de Pearson de .765** en el análisis estadístico de las 317 encuestas. Los resultados de esta investigación demostraron que el área de compras debiera centralizar las adquisiciones necesarias para mayor *control y eficiencia* de las empresas, y en ese sentido mejorar la calidad y alineación de los proveedores con los procesos de la empresa.

Por otro lado, se demostró a través de un modelo matemático que la *localización de plantas* es una estrategia importante para la mejora del *desarrollo económico*. En una investigación presentada, después de llevar a cabo una revisión documental, se aplicó un logaritmo-asignación espacial utilizando el Sistema de Información Geográfica para reavivar el corredor del istmo de Tehuantepec, enfocándose a las actividades económicas de la cadena de valor de los productos frutales. En conclusión, la principal implicación de esta investigación es la posibilidad de mejorar las condiciones de la población, mayoritariamente indígena, a través de la propuesta de reubicación de instalaciones cercanas a estaciones ferroviarias.

También, la *secuenciación de trabajo* fue un tema principal para mejorar las entregas en tiempo, que impacta directamente la *productividad* y así la *imagen* de la empresa. A través del desarrollo de un algoritmo matemático multiobjetivo se logró 1) la minimización del tiempo máximo de procesamiento; 2) la minimización de la máxima tardanza y; finalmente, 3) la minimización del número de trabajo tardíos. En general, parece que este tipo de herramientas de análisis, como lo es el desarrollado y presentado algoritmo matemático multiobjetivo, evoluciona y deja atrás la secuencia de trabajo en un ambiente determinístico y estático, para lograr una *disminución de trabajos tardíos* y así un *mejor servicio* en las empresas.

Adicionalmente, el *desarrollo de indicadores de eficiencia*, tales como, el OEE (overall equipment effectiveness, efectividad general de los equipos) e

indicadores de *sustentabilidad*, se demostraron como esenciales para lograr mejoras empresariales. Es decir, las mediciones a través del análisis de indicadores críticos son clave para identificar errores y rectificar acciones en los procesos. Así, en una investigación presentada en este libro se evidenciaron, a través de un estudio longitudinal, análisis ANOVA y mediciones de áreas productivas del sector alimentario, durante tres años (2019 al 2021), mejoras en disponibilidad, rendimiento y calidad de la empresa bajo estudio. Entre las principales implicaciones de esta evidencia se encuentran la necesidad de reforzar la colaboración entre áreas productivas y generar una cultura de innovación.

En este sentido, otro indicador importante es el de *sustentabilidad*, a través de una revisión de literatura sistemática, provee implicaciones de la política pública y su incidencia en el desarrollo sustentable, es decir en el bienestar de la sociedad, desarrollo empresarial y cuidado del ambiente. A través de una revisión sistemática de literatura presentada en este libro, se observa una serie de conceptos que representan una base de las áreas relevantes en ciudades inteligentes, negocios inteligentes y movilidad que tienen impacto en las empresas. Entre la revisión también se presentan métodos relevantes hoy en día como lo son manejo de datos de usuarios, infraestructura inteligente, vehículos automatizados y gobernanza. Además de las principales acciones en temas de política pública, en la cual se observa una serie de programas piloto para ciudades inteligentes sustentables y tipos de análisis de percepciones de usuarios, que finalmente representan factores del contexto que incide en el desarrollo empresarial.

Finalmente, altos niveles en *prácticas productivas* demostraron mejorar el *rendimiento* de empresas manufactureras encuestadas que operan en Aguascalientes, México. Particularmente, en las 442 pequeñas y medianas empresas (PYMES) que fueron encuestadas, estas presentaron altos niveles de rendimiento y prácticas productivas, tales como el *uso de tecnologías de información y comunicación, control de inventarios y calidad, análisis de productividad, automatización, y mantenimiento*.

Los temas propuestos de las investigaciones presentadas en este libro se encuentran dentro de los ciclos de la administración de operaciones. Por lo que, en conclusión, general, los hallazgos presentados en estas investigaciones añaden al cuerpo de conocimiento sobre que la administración de operaciones es crucial para el desarrollo empresarial.

Administración de operaciones para el desarrollo empresarial

Primera edición 2022

El cuidado y diseño de la edición estuvieron a cargo del Departamento Editorial de la Dirección General de Difusión y Vinculación de la Universidad Autónoma de Aguascalientes.