

# Obstáculos en la implementación de tecnologías avanzadas para la manufactura

Jorge Luis García Alcaraz<sup>1</sup>, José Roberto Díaz Reza<sup>2</sup>, José Roberto Mendoza Fong<sup>3</sup>, Liliana Avelar Sosa<sup>4</sup>, Juan Ignacio Latorre Biel<sup>5</sup>

**Resumen:** Una de las estrategias que siguen las empresas para mantenerse en el ambiente competitivo actual y globalizado, es invertir en tecnologías avanzadas para la manufactura, las cuales ofrecen flexibilidad agilidad y el mejoramiento los índices de desempeño empresarial. Sin embargo, también existen empresas que han reportado múltiples problemas al realizar su proceso de implementación, por lo que el objetivo de esta investigación es identificar los obstáculos que impiden la adecuada implementación de dichas tecnologías en los sistemas productivos. Se realiza una revisión de literatura para identificar los problemas que otras empresas han tenido en otro contexto y sector industrial, donde se identificaron 26 obstáculos, por lo que se realiza un cuestionario que es aplicado a la industria manufacturera mexicana para conocer el nivel con el que éstos se presentan. Se realiza un análisis factorial a 383 casos recolectados de ese sector mediante la técnica de componentes principales y rotación varimax. Los resultados indican que solamente cuatro factores pueden explicar el 65.305% de la variabilidad contenida en todos los obstáculos analizados. Esos factores se asocian a aspectos técnicos durante el proceso de evaluación y justificación, a problemas financieros para la adquisición, a la fiabilidad de los proveedores y la información proporcionada y al servicio posventa, tales como el mantenimiento y garantía de la tecnología.

**Palabras clave:** tecnología avanzada para la manufactura, análisis vectorial, obstáculos de implementación.

## Introducción

Una tecnología avanzada para la manufactura (TAM) es definida como un sistema social y tecnológico que requiere continuas revisiones, ajustes y cambios para dar cumplimiento a las necesidades que tienen las empresas hoy en día en un entorno globalizado (Small 2007). Esta definición es muy importante, ya que tradicionalmente se cree que las TAM son solamente dispositivos tecnológicos; sin embargo, en la actualidad dentro de esa categoría de tecnologías también son consideradas muchas metodologías, filosofías y herramientas usadas de manera tradicional en los sistemas productivos. Por ejemplo, la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico la define simplemente como un equipo controlado por una computadora que está basada en microelectrónica y que es aplicada a los procesos de diseño, manufactura y manipulación de materias primas y productos terminados. Bajo esa definición, todas las tecnologías blandas empleadas actualmente no serían consideradas TAM.

Algunas otras definiciones son mucho más específicas al declarar que las tecnologías avanzadas para la manufactura se refiere a “sistemas integrados de manufactura”, lo cual hace referencia solamente a las tecnologías “duras” y excluyen todas aquellas tecnologías “blandas”. Sin embargo, en la actualidad una de las clasificaciones y taxonomía más aceptada es la que es explicada por Small and Yasin (1997) en la que claramente se observa que los dos tipos de tecnologías son integrados (duras y blandas). En el caso de las tecnologías duras, se pueden listar las siguientes: robots, diseño asistido por computadora (CAD), ingeniería asistida por computadora (CAE), manufactura asistida por computadora (CAM), manufactura integrada por computadora (CIM), control numérico por computadora (CNC), sistemas de manufactura flexible (FMS), digitalización 3D, prototipado rápido, redes de área local, redes de banda ancha, tecnologías de la información y la comunicación, automatización industrial, vehículos automáticamente guiados, inspección automatizada, inteligencia artificial en la industria, tecnologías láser, intercambio electrónico de datos, proceso de planeación asistido por computadora, carga y descarga automática de objetos, Herramientas de

<sup>1</sup> Jorge Luis García Alcaraz es profesor investigador en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Email: [jorge.garcia@uacj.mx](mailto:jorge.garcia@uacj.mx)

<sup>2</sup> José Roberto Díaz Reza es alumno de doctorado en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Email: [al164440@alumnos.uacj.mx](mailto:al164440@alumnos.uacj.mx)

<sup>3</sup> José Roberto Mendoza Fong es alumno de doctorado en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Email: [al164438@alumnos.uacj.mx](mailto:al164438@alumnos.uacj.mx)

<sup>4</sup> Liliana Avelar Sosa es profesora investigadora en la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Email: [Liliana.avelar@uacj.mx](mailto:Liliana.avelar@uacj.mx)

<sup>5</sup> Juan Ignacio Latorre Biel es profesor investigador en la Universidad Pública de Navarra (Campus Tudela), México. Email: [juanignacio.latorre@unavarra.es](mailto:juanignacio.latorre@unavarra.es)

cambio automático, inspección asistida por computadora, pruebas y rastreo, códigos de barras y control y adquisición de datos.

Asimismo, se tiene la siguiente lista para las tecnologías blandas: sistemas justo a tiempo (JIT), planeación de recursos de manufactura (MRP II), planeación de recursos para la empresa (ERP), grupos tecnológicos, células de manufactura, administración de la calidad total, control estadístico de calidad y procesos, cambios en menos de 10 minutos, mantenimiento productivo total y manufactura esbelta.

En la actualidad existen muchos reportes en los que se indican los beneficios que obtienen las empresas que implementan esas tecnologías avanzadas para la manufactura, entre los que se pueden mencionar los siguientes (Yasin et al. 2003; Small and Yasin 2003): mejoramiento y control administrativo del proceso de producción, mejoramiento del entorno de trabajo, flexibilidad de los sistemas de producción, expansión en las líneas de producción, mejoramiento en la imagen corporativa, mejoramiento en la variabilidad de los sistemas de producción, una mejor integración de las funciones operativas y administrativas, mejor actitud de la fuerza laboral, mejoramiento en las relaciones con los proveedores, una mejor actitud administrativa, reducción de tiempo en el desarrollo de nuevos productos, mejores relaciones de trabajo, se reducen y mejoran los tiempos de entrega, se reduce el inventario en proceso, existe una mejor integración de los procesos de manufactura, reducción en los costos de pronósticos, procesos de producción y operación estables, se facilitan los cambios de ingeniería de manera rápida y se realiza monitoreo eficiente de las materias primas y productos terminados.

Todos los beneficios anteriores resultan ser atractivos para los gerentes de manufactura, donde se tienen sistemas de producción globalizados y los tiempos de entrega con el cliente son cada vez más cortos, pero además se exige una gran variedad de productos (Chuu 2009b). Por tal motivo, las empresas buscan agilizar sus procesos productivos adquiriendo esas tecnologías avanzadas de manufactura, ya que por ejemplo sistemas de diseño les ayudan a generar prototipos de manera rápida (Chuu 2009a). Asimismo, es posible tener flexibilidad en esos procesos de producción, de tal forma que se pueden producir diferentes productos en lotes más pequeños, lo que le da un toque personalizado a la empresa.

Sin embargo, muchas empresas también han declarado tener problemas al momento de implementar esas tecnologías avanzadas para la manufactura y que esos beneficios no son siempre alcanzados (Chang and Wang 2009). Por ejemplo, se ha reportado que durante la etapa de selección es posible encontrar muchas alternativas en el mercado las cuales están disponibles a diferentes precios, y con proveedores a veces muy distantes o en otros países. Asimismo, es posible que se tenga carencias de recursos económicos para realizar la inversión en esa tecnología y otras veces, es difícil localizar la TAM adecuada o realizar un rastreo tecnológico. Otras veces, se tienen problemas con el tiempo de entrega que puede ofrecer un proveedor y las garantías de la tecnología, así como diferentes desacuerdos en el proceso de selección interna, ya que no existen estándares que indiquen quien debe realizar el proceso de evaluación y selección (Costa and Lima 2008).

De la misma manera, una vez que se han llevado a cabo ese proceso de selección y la empresa ya tiene esa TAM en posesión y procede a su instalación, es posible que se tengan diferencias con relación al diseño que ha adquirido inicialmente con lo que realmente se está entregando (Small 2007), es posible que exista falta de conocimiento para realizar la instalación o que los manuales encuentren escritos en un idioma distinto, lo que dificulta ajustar la nueva tecnología. Muchas veces, no se cumplen con los requisitos de calidad mínimos exigidos, o esa nueva tecnología requiere de instalaciones especiales para su funcionamiento (Marri et al. 2007), tales como fuente de energía especial, ambiente controlado, entre otros. Finalmente, es conveniente decir que muchas veces se tienen problemas de configuración en las interfaces de comunicación entre la máquina y el operario, lo que frecuentemente provoca errores y malentendidos.

Bajo el supuesto de que ya se tenga instalada la nueva tecnología avanzada para la manufactura, se ha reportado que existen problemas con la capacitación de los operarios e incumplimiento de las garantías por parte del proveedor, lo que muchas veces trae como consecuencias averías frecuentes a una tecnología que ha sido muy cara, lo que hace incurrir en programas de mantenimiento recurrente, para el cual muchas veces no existe personal capacitado y frecuentemente se tiene que subcontratar con el propio proveedor, el cual también puede ser muy caro (Zhang et al. 2006). Otro problema puede presentarse al momento de adquirir las nuevas partes y refacciones, las cuales pueden estar muy distantes y tener precios excesivos (Thakur and Jain 2006).

Ese tipo de problemas que pueden encontrarse durante el proceso de evaluación y justificación, implementación y operación de las tecnologías avanzadas de manufactura, hace que muchos gerentes tomen la decisión de no invertir debido a los riesgos que eso implica (Small 2006). Sin embargo, esa actitud representa el estatus quo y rápidamente pueden ser expulsados del mercado en el cual participan, dado que los índices de productividad y eficiencia se verán rápidamente afectados. Por tal motivo, el objetivo de este artículo es realizar una revisión de literatura con relación a los diferentes obstáculos que puede encontrarse un gerente al realizar una inversión en tecnologías avanzadas para la manufactura, realizar una encuesta en el sector industrial de las maquiladoras y determinar cuál es la situación que se

vive ante este problema. Con esa información, se busca realizar un análisis factoriales que permita identificar aquellos problemas que son más frecuentes en el proceso de implementación de TAM y que de esta manera el gerente pueda focalizar su atención en aquellos que son más importantes.

## Desarrollo

### *Revisión de literatura*

Se realiza una revisión de literatura en bases de datos científicas con la finalidad de identificar diferentes obstáculos que han enfrentado las empresas que han implementado tecnologías avanzadas para la manufactura en sus procesos de producción, tales como Web of Science, Springer, Ingenta, entre otras. Las palabras clave durante el proceso de búsqueda están asociadas a lo siguiente: obstáculos tecnológicos, inversiones en TAM, implementación de TAM, entre otras.

En cada uno de los artículos en los que se encontraba algún tipo de obstáculo, se capturaba el nombre del mismo, el autor o autores, universidad y departamento de adscripción del primer autor, año de la publicación, nombre de la revista y hallazgos principales. Esta revisión de literatura representa una validación racional (García-Alcaraz et al. 2017).

### *Creación de un cuestionario*

Con la lista de obstáculos y problemas enfrentados durante el proceso de implementación de tecnologías avanzadas para la manufactura identificadas en el caso anterior, se genera un cuestionario que debe aplicarse al sector industrial de la industria maquiladora mexicana, con la finalidad de saber si han tenido ese tipo de problemas. Ese cuestionario se presenta de manera preliminar a cuatro gerentes de ingeniería y dos académicos expertos en el proceso de implementación de nuevas tecnologías con el objetivo de realizar una validación por jueces y que ayuden a determinar la pertinencia de los obstáculos, el nivel de importancia de cada uno de los problemas, la claridad de la expresión hecha y su semántica, entre otros aspectos (García-Alcaraz et al. 2014).

De la misma manera, se han dejado espacios en blanco para que esos expertos propongan nuevos problemas u obstáculos que en base a su experiencia son importantes y que deben integrarse en el cuestionario. Asimismo, pueden realizar sugerencias sobre la redacción y semántica de alguna de las preguntas realizadas, ya que es preciso mencionar que esos ítems han sido extraídos de la literatura y son reportes de estudios realizados en otros países y en diferente contexto industrial. Esta actividad representa una validación por jueces (Mahanti and Antony 2009).

El cuestionario se diseña de tal manera que recolecta las valoraciones de las personas encuestadas mediante una escala Likert que tiene valores entre uno y cinco. En este caso, el uno o valor más bajo indica que ese obstáculo nunca se presenta, mientras que el cinco o valor más alto indica que ese obstáculo siempre se presenta. Los valores intermedios tales como el dos, tres y cuatro representan las opciones de casi nunca, regularmente y casi siempre.

### *Aplicación del cuestionario*

Se acude a las oficinas de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX) para pedir apoyo y buscar acceso a las diferentes empresas que están afiliadas a esta asociación. Se contacta a diferentes gerentes de los departamentos de ingeniería y producción con la finalidad de presentar el cuestionario a aplicar. Se establecen citas con dichos gerentes y se procede a contestar el cuestionario mediante entrevista cara a cara. Como principio de inclusión se considera lo siguiente: el encuestado debe haber participado en al menos tres proyectos de inversión de TAM, debe tener al menos tres años de experiencia en el área y estar asociado con el proceso productivo.

En el caso de que alguna cita fuera cancelada debido a diversas circunstancias, se volvía a gestionar una segunda cita y en el caso de que tres citas fuesen canceladas, se procedía a omitir ese caso o posible encuestado debido que requería de mucho tiempo para obtener la información.

### *Captura y depuración de la información*

Se genera una base de datos en el software estadístico SPSS 24 ®, donde cada fila representa a una de las encuestas obtenidas y cada una de las columnas representan a uno de los obstáculos identificados. De la misma manera, se realiza una depuración de dicha base de datos para los siguiente:

- Identificar valores perdidos o no respondidos por los encuestados, mismos que fueron reemplazados por la mediana de cada uno de los obstáculos (Dray and Josse 2015).
- Identificar valores extremos que pudieran tener influencia en la estimación de estadísticos de los obstáculos, mismos que fueron reemplazados por la mediana de cada uno de éstos (Hekimoglu et al. 2015).
- Identificar el problema del encuestado no comprometido que pudiera responder con un mismo número o valor a todas y cada una de las preguntas contenidas en el cuestionario, para lo cual se obtuvo la desviación estándar de cada uno de los casos. Si el valor de la desviación estándar es menor a 0.5, ese caso se desechaba.

### *Análisis descriptivo de los obstáculos*

Con el objetivo de determinar cuáles de los obstáculos se presentan con mayor frecuencia, se realiza un análisis descriptivo de los mismos donde se obtiene la mediana como medida de tendencia central y el rango intercuartílico (IR) como medida de dispersión y ello se debe a que la escala usada para obtener la información se encuentra en valores ordinales. En este caso, un valor bajo en la mediana significa que ese obstáculo casi nunca se presenta, pero un valor alto indica que ese problema casi siempre se manifiesta. De la misma manera, un rango intercuartílico bajo indica que existe un alto consenso entre los encuestados en relación al valor medio que tiene ese obstáculo, mientras que un valor alto indica la falta de consenso (Alsyouf 2009).

### *Análisis factorial*

Dado que el objetivo de este estudio es agrupar en categorías a los obstáculos que se tienen para la implementación de tecnología avanzada para la manufactura, se decide realizar un análisis factorial bajo las siguientes condiciones:

- Se extrae el índice KMO (Kaizer-Meyer-Olkin) de la base de datos con la finalidad de determinar la factibilidad de aplicar el análisis factorial, donde se esperan valores superiores a 0.7. De la misma manera, se realiza la prueba de esfericidad de Bartlett, donde se esperan p valores asociados a la chi cuadrada menores a 0.05, lo que indica que la matriz de correlaciones es diferente a la matriz identidad (Montes 2014).
- Se realiza una extracción por el método de componentes principales, usando la matriz de correlaciones de los ítems obstáculos en este caso. Se seleccionan como factores dignos de analizarse aquellos que tienen un eigenvalor superior a uno (Boon Sin et al. 2015).
- Se realiza una rotación Varimax con la finalidad de facilitar la interpretación de los factores que integran el conjunto de datos y se limita la convergencia a 25 integración.

## **Resultados**

La sección de resultados encuentra dividida en otras subsecciones con la finalidad de facilitar su entendimiento y está en función de la información que se presente. En términos generales se puede mencionar que del mes de julio a diciembre de 2017 se aplicó la encuesta y se obtuvieron 383 casos válidos.

### *Análisis descriptivo de la muestra*

En la Tabla 1 se ilustra un resumen de los diferentes sectores industriales que fueron encuestados, así como los años de experiencia que tiene la persona que respondió el cuestionario. Se observa que 282 del total de encuestados tienen entre 3 y 5 años de experiencia y que el sector automotriz fue el que más respondió el cuestionario. Es importante mencionar que solamente 369 personas han respondido a esas dos preguntas realizadas.

| Años de experiencia | Sector al que pertenece |           |            |             |             |           |      | Total |
|---------------------|-------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-----------|------|-------|
|                     | Maquinados              | Eléctrico | Automotriz | Aeronáutica | Electrónica | Logística | Otro |       |
| 3-5                 | 41                      | 26        | 142        | 3           | 29          | 5         | 36   | 282   |
| 5-10                | 4                       | 6         | 32         | 1           | 9           | 2         | 7    | 61    |
| Mas de 10           | 3                       | 0         | 12         | 1           | 3           | 2         | 5    | 26    |
| Total               | 48                      | 32        | 186        | 5           | 41          | 9         | 48   | 369   |

Tabla 1. Años y sector industrial de los encuestados

En la Tabla 2 se ilustra el género y la posición jerárquica que tienen los encuestados en la empresa para la que laboran. En este caso se observa que solamente 353 personas contestaron simultáneamente a ambas preguntas y que en su mayoría fueron hombres, y que 209 ingenieros y 121 supervisores fueron los que más respondieron el cuestionario.

| Genero    | Gerente | Supervisor | Ingeniero | Técnico | Otro | Total |
|-----------|---------|------------|-----------|---------|------|-------|
| Femenino  | 2       | 23         | 37        | 1       | 1    | 64    |
| Masculino | 11      | 98         | 172       | 0       | 8    | 289   |
| Total     | 13      | 121        | 209       | 1       | 9    | 353   |

Tabla 2. Género y posición jerárquica

### *Análisis descriptivo de los obstáculos*

En la Tabla 3 se ilustra el análisis descriptivo de los obstáculos, mismos que se encuentran ordenados de manera descendente de acuerdo a la mediana. En términos generales, se observa que todos los obstáculos tienen mediana

superior a tres pero inferior a cuatro, lo que indica que se presentan regularmente en el proceso de implementación de tecnologías avanzadas para la manufactura.

Se observa que el problema más frecuente según los encuestados se refiere a la capacitación de los operarios y casualmente, el segundo lugar indica que pocos operarios saben usarla, lo que indica que el entrenamiento y capacitación después de la implementación es uno de los problemas que más se presentan. De manera similar, los dos ítems que tienen las medianas más bajas se refieren a las averías frecuentes que pueden tener esas tecnologías y a los problemas de tipo financiero. Lo anterior indica que las empresas maquiladoras, dado que tienen oficinas centrales en otros países y son simples sucursales que ensamblan componentes, no enfrentan problemas económicos, que son empresas transnacionales y de amplio poder financiero.

| Obstáculo  | Mediana | RI   |
|--|---------|------|
| Capacitación de los operarios  | 3.82    | 1.77 |
| Pocos operarios saben usarla   | 3.75    | 1.87 |
| Garantías de la TMA por parte del proveedor                            | 3.69    | 1.63 |
| Proveedores muy distantes (en otros países)                            | 3.68    | 1.67 |
| Requerimientos aduanales para importar la TMA                          | 3.68    | 1.66 |
| Requiere personal especializado para el mantenimiento                  | 3.68    | 1.79 |
| Refacciones muy caras y distantes                                      | 3.68    | 1.71 |
| Difícil localizar la tecnología (rastreo tecnológico)                  | 3.66    | 1.77 |
| Tiempo de entrega de la TMA  | 3.63    | 1.58 |
| Justificación técnica de la inversión (para qué se requería)           | 3.63    | 1.69 |
| Requiere de instalaciones especiales (energía, edificio)               | 3.62    | 1.89 |
| Manuales de instalación en idioma diferente                            | 3.61    | 1.83 |
| Falta de conocimiento para realizar la instalación                     | 3.59    | 1.88 |
| Costo elevado por honorarios de mantenimiento                          | 3.58    | 1.75 |
| Desacuerdos en el proceso de selección interna                         | 3.57    | 1.74 |
| Carencia de recursos económicos  | 3.56    | 1.73 |
| Diferencias con relación al diseño (la TMA es diferente a la ordenada) | 3.55    | 1.72 |
| No cumple requisitos de calidad en productos                           | 3.54    | 1.83 |
| Problema de configuración o interfaces de comunicación                 | 3.53    | 1.91 |
| Temor y riesgo de realizar la inversión                                | 3.52    | 1.79 |
| Existían muchas alternativas   | 3.51    | 1.68 |
| Incumplimiento de las garantías  | 3.50    | 2.02 |
| Mantenimiento muy caro   | 3.49    | 1.85 |
| No se puede poner a punto o ajustar                                    | 3.47    | 1.81 |
| Averías frecuentes   | 3.47    | 1.98 |
| Problemas financieros (si fue financiada)                              | 3.42    | 1.92 |

Tabla 3. Análisis descriptivo de los obstáculos

#### Análisis factorial

Se ha obtenido un índice KMO de 0.961 como prueba de factibilidad del análisis factorial y dado que es un valor superior a 0.8, se concluye que esta técnica es viable para reducción de las dimensiones de la información. Asimismo, se ha obtenido un valor del chi cuadrado de 6482.211 con 325 grados de libertad y con un p-valor asociado de 0.000, lo que indica que la matriz de correlaciones de los obstáculos no es igual a la matriz identidad y que el análisis factorial es una técnica viable. En la Tabla 4 se muestra que solamente 4 factores pueden explicar el 65.305% de la variabilidad contenida en los 26 obstáculos. Se observa que el primer factor puede explicar hasta el 19.526% de la variabilidad, mientras que el segundo explica el 16.866% (en los componentes rotados).

| Componente | Eigenvalores sin rotar |                  |                | Eigenvalores rotados |                  |                |
|------------|------------------------|------------------|----------------|----------------------|------------------|----------------|
|            | Total                  | % de<br>varianza | %<br>acumulado | Total                | % de<br>varianza | %<br>acumulado |
| 1          | 13.095                 | 50.366           | 50.366         | 5.077                | 19.526           | 19.526         |
| 2          | 1.664                  | 6.402            | 56.768         | 4.385                | 16.866           | 36.391         |
| 3          | 1.131                  | 4.349            | 61.116         | 3.944                | 15.169           | 51.560         |
| 4          | 1.089                  | 4.189            | 65.305         | 3.574                | 13.745           | 65.305         |

Tabla 4. Factores con rotación varimax

En la Tabla 5 se ilustra la estructura que pueden tener los factores y los ítems que los componen. En este caso, se agregan solamente aquellos que tienen cargas factoriales superiores a 0.5. Es importante mencionar que dos ítems u

obstáculos han sido eliminados, dado que parecen ser una constante, el primero se refiere a la capacitación de los empleados para el uso y manejo de la TAM y el segundo, a los desacuerdos que existen en el proceso de selección.

| Obstáculo  | Carga factorial | Descripción del factor  |
|--|-----------------|---|
| Requiere de instalaciones especiales (energía, edificio)               | 0.750           | Este factor se relaciona con aspectos previos y durante el proceso de instalación de la TMA. Son aspectos técnicos que deben planearse para evitar cometerlos, ya que muchos de ellos son fácilmente controlados.<br>Para evitar este tipo de problemas se recomienda tener una amplia planeación del proceso, conocer previamente la nueva TAM y sus necesidades y asegurarse mediante un contrato de compraventa las características de la misma. |
| No cumple requisitos de calidad en productos                           | 0.742           |   |
| Problema de configuración o interfaces de comunicación                 | 0.677           |   |
| No se puede poner a punto o ajustar                                    | 0.635           |   |
| Manuales de instalación en idioma diferente                            | 0.600           |   |
| Falta de conocimiento para realizar la instalación                     | 0.579           |   |
| Incumplimiento de las garantías  | 0.571           |   |
| Diferencias con relación al diseño (la TMA es diferente a la ordenada) | 0.552           |   |
| Averías frecuentes   | 0.523           |   |
| Problemas financieros (si fue financiada)                              | 0.732           |   |
| Carencia de recursos económicos  | 0.728           |   |
| Temor y riesgo de realizar la inversión                                | 0.670           |   |
| Difícil localizar la tecnología (rastreo tecnológico)                  | 0.549           |   |
| Justificación técnica de la inversión (para qué se requería)           | 0.508           |   |
| Costo elevado por honorarios de mantenimiento                          | 0.774           | Este factor se asocia con problemas que se encuentran cuando ya está instalada la TAM y se requiere de mantenimiento para que continúe en los sistemas productivos.   |
| Refacciones muy caras y distantes                                      | 0.760           |   |
| Pocos operarios saben usarla   | 0.744           |   |
| Requiere personal especializado para el mantenimiento                  | 0.706           |   |
| Mantenimiento muy caro   | 0.607           |   |
| Existían muchas alternativas   | 0.747           |   |
| Proveedores muy distantes (en otros países)                            | 0.714           |   |
| Garantías de la TMA por parte del proveedor                            | 0.573           |   |
| Tiempo de entrega de la TMA  | 0.537           |   |
| Requerimientos aduanales para importar la TMA                          | 0.527           |   |

Tabla 5. Factores de obstáculos en la implementación de TAM

### Conclusiones

En base a los resultados encontrados del análisis de la información obtenida en relación con los principales obstáculos en el proceso de implementación de TAM, se puede concluir lo siguiente:

- Se requiere se tenga un adecuado entrenamiento de los empleados que operaran las maquinas, ya que desde un punto de vista univariable es el problema mas grande que enfrentan las industrias maquiladoras mexicanas.
- Al comprar nueva tecnología, los gerentes deben asegurarse de los términos en los cuales pueden hacer válidas las garantías por parte del proveedor, aun cuando éste se encuentre en lugares muy distantes.
- Si el proveedor de la TAM se encuentra fuera del país, deben tomarse en cuenta el transporte y los aspectos aduanales, ya que esos últimos corren generalmente por cuenta del comprador.
- Asegurarse de capacitar y entrenar al personal que dará mantenimiento a la nueva tecnología e identificar las piezas o componentes que son críticas y requieren de cambios frecuentes.

### Referencias

- Alyouf I (2009) Maintenance practices in Swedish industries: Survey results. *International Journal of Production Economics* 121 (1):212-223. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.05.005>
- Boon Sin A, Zailani S, Iranmanesh M, Ramayah T (2015) Structural equation modelling on knowledge creation in Six Sigma DMAIC project and its impact on organizational performance. *International Journal of Production Economics* 168:105-117. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.007>
- Costa SEGd, Lima EPd (2008) Advanced manufacturing technology adoption: an integrated approach. *Journal of Manufacturing Technology Management* 20 (1):74-96. doi:doi:10.1108/17410380910925415
- Chang T-H, Wang T-C (2009) Measuring the success possibility of implementing advanced manufacturing technology by utilizing the consistent fuzzy preference relations. *Expert Systems with Applications* 36 (3, Part 1):4313-4320. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2008.03.019>

- Chuu S-J (2009a) Group decision-making model using fuzzy multiple attributes analysis for the evaluation of advanced manufacturing technology. *Fuzzy Sets and Systems* 160 (5):586-602. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.fss.2008.07.015>
- Chuu S-J (2009b) Selecting the advanced manufacturing technology using fuzzy multiple attributes group decision making with multiple fuzzy information. *Computers & Industrial Engineering* 57 (3):1033-1042. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2009.04.011>
- Dray S, Josse J (2015) Principal component analysis with missing values: a comparative survey of methods. *Plant Ecology* 216 (5):657-667. doi:10.1007/s11258-014-0406-z
- García-Alcaraz J, Avelar-Sosa L, Latorre-Biel J, Jiménez-Macías E, Alor-Hernández G (2017) Role of Human Knowledge and Communication on Operational Benefits Gained from Six Sigma. *Sustainability* 9 (10):1721
- García-Alcaraz JL, Maldonado AA, Iniesta AA, Robles GC, Hernández GA (2014) A systematic review/survey for JIT implementation: Mexican maquiladoras as case study. *Computers in Industry* 65 (4):761-773. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compind.2014.02.013>
- Hekimoglu S, Erdogan B, Erenoglu RC (2015) A new outlier detection method considering outliers as model errors. *Experimental Techniques* 39 (1):57-68. doi:10.1111/j.1747-1567.2012.00876.x
- Mahanti R, Antony J (2009) Six Sigma in the Indian software industry: some observations and results from a pilot survey. *TQM Journal* 21 (6):549-564. doi:10.1108/17542730910995837
- Marri HB, Gunasekaran A, Sohag RA (2007) Implementation of advanced manufacturing technology in Pakistani small and medium enterprises: An empirical analysis. *Journal of Enterprise Information Management* 20 (6):726-739. doi:doi:10.1108/17410390710830745
- Montes D (2014) Elements and benefits from JIT: a factor analysis. *Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez*
- Small MH (2006) Justifying investment in advanced manufacturing technology: a portfolio analysis. *Industrial Management & Data Systems* 106 (4):485-508. doi:doi:10.1108/02635570610661589
- Small MH (2007) Planning, justifying and installing advanced manufacturing technology: a managerial framework. *Journal of Manufacturing Technology Management* 18 (5):513-537. doi:doi:10.1108/17410380710752635
- Small MH, Yasin M (2003) Advanced manufacturing technology adoption and performance: the role of management information systems departments. *Integrated Manufacturing Systems* 14 (5):409-422. doi:doi:10.1108/09576060310477816
- Small MH, Yasin MM (1997) Advanced manufacturing technology: Implementation policy and performance. *Journal of Operations Management* 15 (4):349-370. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(97\)00013-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(97)00013-2)
- Thakur LS, Jain VK (2006) Advanced manufacturing techniques and information technology adoption in India: A current perspective and some comparisons. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 36 (5):618. doi:10.1007/s00170-006-0852-4
- Yasin MM, Small MH, Wafa MA (2003) Organizational modifications to support JIT implementation in manufacturing and service operations. *Omega* 31 (3):213-226. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483\(03\)00024-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0305-0483(03)00024-0)
- Zhang Q, Vonderembse MA, Cao M (2006) Achieving flexible manufacturing competence: The roles of advanced manufacturing technology and operations improvement practices. *International Journal of Operations & Production Management* 26 (6):580-599. doi:doi:10.1108/01443570610666957