

ESTUDIO EMPÍRICO PARA LA VALIDACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO QUE MIDE EL DESEMPEÑO CORPORATIVO EN INDUSTRIAS MANUFACTURERAS

Elizabeth Eugenia Díaz Castellanos, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Carlos Díaz Ramos, Universidad Veracruzana

Luis Alberto Barroso Moreno, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Beatriz Pico González, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

RESUMEN

En los últimos años han surgido diferentes iniciativas de mejora en cuanto al logro de un desempeño superior y a la creación de valor para las organizaciones. Esto ha incrementado el interés por investigar el proceso de implantación de estrategias de mejora y su correspondiente valoración, a la luz de los objetivos y de los planes estratégicos corporativos, lo cual ha llevado a las empresas a alinear sus estrategias con los indicadores de desempeño; sin embargo, existe en la literatura muy poca información sobre como optimizar modelos correlacionales, es decir, modelos que involucren a varias variables al mismo tiempo. El propósito principal de este trabajo es por un lado encontrar los pesos posicionales correspondientes de un modelo matemático que sea capaz de medir el desempeño corporativo en las empresas de manufactura, y por otra parte, realizar una comparación de los resultados obtenidos con los del proceso analítico jerárquico, con la finalidad de validar el modelo. Como producto final, se obtuvo la validez del modelo matemático, lo cual hace posible su aplicación en las empresas manufactureras.

PALABRAS CLAVE: Método Delphi, Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), Técnicas de Estadística Multivariante

EMPIRICAL STUDY FOR THE VALIDATION OF A MATHEMATICAL MODEL TO MEASURE CORPORATE PERFORMANCE IN MANUFACTURING

ABSTRACT

In recent years there have been various concepts of improvement initiatives that promise results through superior performance. They create value for the organization. For this reason there has been increased interest in studying the process of implementing improvement strategies in organizations; Improvement strategies lead companies to align their strategies with performance indicators. However, there is little in the literature about how to optimize correlational models, i.e. models involving multiple variables simultaneously. The main purpose of this paper is to identify corresponding weights for the construction of a mathematical model capable of measuring corporate performance in manufacturing firms. We also compare the results obtained by applying multivariate statistical techniques to validate the model. Results show validity of the mathematical model was obtained, which makes possible its application in manufacturing enterprises.

JEL: C38, M15

KEYWORDS: Delphi Method, Analytic Hierarchy Process (AHP), Multivariate Statistical Techniques

INTRODUCCIÓN

En los últimos años han surgido diferentes iniciativas de mejora en cuanto al logro de un desempeño superior y a la creación de valor para las organizaciones. Esto ha incrementado el interés por investigar el proceso de implantación de estrategias de mejora y su correspondiente valoración, a la luz de los objetivos y de los planes estratégicos corporativos. La metodología que traduce la estrategia de una organización en un arreglo comprensivo de causa-efecto, es el Balanced Scorecard. El concepto rompe con el sistema tradicional de administración del presupuesto, que se concentra en medir aspectos financieros, los cuales dan poca oportunidad de entender si la organización se mueve o no en la dirección estratégica correcta. El mapa de la estrategia, que utiliza, constituye la representación visual de los objetivos de una organización, en donde se identifican al menos cuatro perspectivas: la perspectiva económica, que contiene las expectativas del desempeño financiero. La perspectiva del cliente, que traduce las expectativas de los clientes en cada segmento de mercado y enfatiza los objetivos de los atributos de los productos, del servicio y de la imagen. La perspectiva de procesos, que contempla los objetivos de los procesos de soporte y operativos, alineados con los objetivos de calidad, tiempo y eficiencia para satisfacer al cliente.

La perspectiva de aprendizaje y crecimiento; es decir, las capacidades y habilidades de la fuerza laboral, la inteligencia competitiva, la tecnología, las competencias, la cultura y valores que posibilitan los procesos. Dichas perspectivas agrupan a los objetivos causa-efecto para lograr materializar la estrategia a corto, mediano y largo plazo. El mapa sirve para relatar de manera comprensible como se entrelazan las hipótesis de cada perspectiva. En México existe un interés cada vez más grande por conocer y adaptar en las empresas y organizaciones la metodología del Balanced Scorecard. Indudablemente que la medición del logro de los objetivos estratégicos requiere de indicadores de desempeño alineados perfectamente con las estrategias correspondientes. Existen en la literatura científica una gran cantidad de estudios que proponen medidas de desempeño a este respecto; sin embargo, todos ellos utilizan un enfoque univariado, uno de ellos (Kaplan, 2004) sugiere investigar a futuro el caso multivariado y solamente uno (Díaz, 2014) propone una modelo matemático basado en técnicas multivariadas. Además, algunos de los estudios reportados. Hacen uso del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como un medio para validar sus indicadores, nuevamente en un entorno univariado. El Proceso Analítico Jerárquico fue desarrollado durante los años setentas en la Universidad de Pennsylvania por el Dr. Thomas L. Saaty, al buscar elaborar un instrumento formal para la evaluación y selección de alternativas, que tuviera las características de ser sólido en sus fundamentos matemáticos, útil en la toma de decisiones y sencillo en su aplicación.

Es una de las técnicas multicriterio con mayor implementación práctica en casi todos los ámbitos de la toma de decisiones. A grandes rasgos, las causas que han motivado su gran aplicabilidad, subyacen en las mismas ideas que sugirieron su metodología, esto es: la flexibilidad de la técnica; la adecuación a numerosas situaciones reales referidas, fundamentalmente, a la selección multicriterio entre alternativas; su facilidad de uso; la posibilidad de aplicarla a decisiones individuales y en grupo y, por último; la existencia de software amigable para su aplicación. Este trabajo presenta el resultado de dos años de investigación (2012-2014) en relación a la validación, mediante la aplicación del enfoque del Proceso Analítico Jerárquico, del modelo matemático desarrollado a través del uso de la metodología del Balanced Scorecard por Díaz (2014), el cual se propone como un instrumento integrador de la medición del desempeño corporativo. El uso del AHP permitió contrastar sus resultados con los obtenidos al aplicar el modelo desarrollado. Estos resultados, manifestaron un acuerdo contundente, el cual llevó a una validación exitosa de la propuesta.

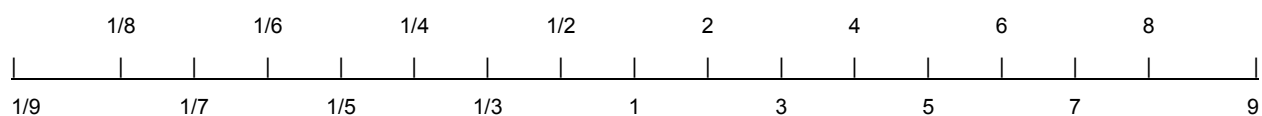
El trabajo se encuentra organizado de la siguiente manera: en la sección que sigue, se presenta la revisión literaria, posteriormente, se plantea el problema de investigación dentro del marco estratégico del Balanced Scorecard; en seguida, se presenta el fundamento de la técnica del proceso analítico jerárquico y su aplicación. Posteriormente, se detalla el proceso del uso del método Delphi con expertos en la industria de

manufactura. Luego se contrastan los resultados obtenidos con la aplicación del modelo matemático, con los encontrados mediante el uso del proceso analítico jerárquico.

REVISIÓN LITERARIA

El Proceso Analítico Jerárquico (AHP), presentado por Thomas Saaty (1980), es una herramienta eficaz para hacer frente a la toma de decisiones complejas, y puede ayudar al establecimiento de prioridades, para que de este modo, se pueda llegar a la mejor decisión. Funciona mediante la reducción de decisiones complejas a una serie de comparaciones por pares, para después sintetizar los resultados. El AHP ayuda a capturar tanto los aspectos subjetivos, como los objetivos de una decisión. Además, el AHP incorpora una técnica útil para comprobar la consistencia de las evaluaciones del decisor, lo que reduce el sesgo en el proceso de toma de decisiones. La figura 1 muestra la al escala “comparación por pares” y la Figura 2 muestra la estructura jerárquica que corresponde al foco de investigación. Este foco, representa la importancia de las diferentes áreas de una organización. Las C’s representan a cada uno de los cinco criterios (indicadores parciales) con que cuenta el modelo (ver Ecuación 1), y cada uno de los c’s que se desprenden de éstos, representan a los actores (indicadores individuales) o subcriterios del modelo.

Figura 1: Escala “Comparación por Pares” de Saaty



En esta figura se muestra la escala utilizada dentro de la metodología del Proceso Analítico Jerárquico por los expertos para poder evaluar los criterios correspondientes.

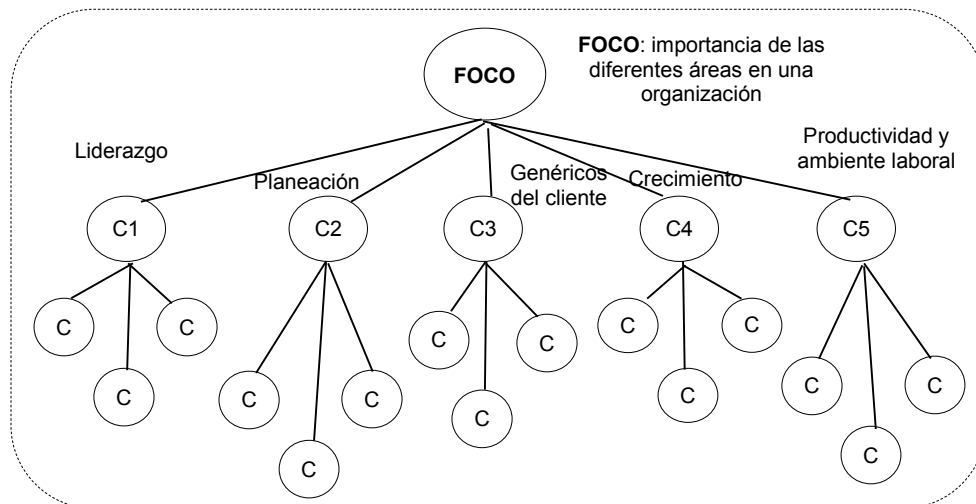
Esta escala la estableció Thomas L. Saaty, no en forma arbitraria, sino como producto de un estudio de base experimental, donde se ha confirmado que una escala de nueve elementos es razonable y refleja de manera suficiente los distintos grados o niveles en los cuales una persona puede discriminar la intensidad de la relación entre elementos de un conjunto dado. De esta manera, todas las comparaciones y por ende, las mediciones, cuando se usa esta técnica se hacen en base a la misma escala; por ello, la técnica se ajusta al principio de homogenización de la Teoría de Mediciones, en particular, cuando se trabaja con factores o variables con escalas muy diversas. Existen en la literatura un número considerable de trabajos sobre el AHP (Proceso Analítico Jerárquico por sus siglas en inglés).

Toledo (2011) realizó un estudio sobre los factores de riesgo en la agricultura aplicando el proceso analítico jerárquico; considerando que el desarrollo agrícola es de gran importancia y que varía según la zona geográfica, Toledo, buscó dar prioridad a los factores de riesgo que son altamente relevantes para los agricultores en el centro sur de Chile, utilizando AHP para definir una estructura de decisión con cuatro factores o criterios de riesgo: el clima, los precios y la variabilidad del costo directo, factor humano y comercialización. En general, los resultados obtenidos mostraron que no existen desequilibrios importantes en las ponderaciones de los diferentes factores de riesgo. El factor precio y variabilidad del costo fue el factor más importante (0.30), mientras que el clima fue el menos importante (0.20). También confirmó que existen diferencias espaciales en las ponderaciones obtenidas para los distintos factores de riesgo que determinan los niveles de riesgo distintos para las actividades agrícolas respectivas de acuerdo a la región geográfica.

Martínez Rodríguez (2007) como parte de un capítulo en un libro, realizó un estudio de aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME en el sector de servicios, el cual sirvió de base para la realización del presente trabajo. El objetivo del trabajo fue ofrecer al pequeño empresario, quien no cuenta con importantes recursos ni humanos ni tecnológicos, un método que facilite la toma de decisiones empresariales, formalizando la comprensión intuitiva de problemas complejos de

decisión en los que intervienen varios criterios de selección. Para ello se ha desarrollado un proceso de decisión relativo a la ubicación de un pequeño comercio. En el trabajo afirma que la búsqueda de la eficiencia, la productividad y la competitividad por parte de las empresas están contribuyendo a la búsqueda de metodologías de apoyo a la toma de decisiones complejas en escenarios de múltiples criterios de selección. Para el tratamiento y el análisis apropiado de este tipo de problemas se han desarrollado, en las últimas décadas, un gran número de métodos de Decisión Multicriterio, todos ellos de gran interés y de importante aplicación en la práctica.

Figura 2: Jerarquización en el AHP



La figura 1 muestra la estructura jerárquica que corresponde al foco de investigación. Este foco, representa la importancia de las diferentes áreas de una organización.

Estos métodos persiguen eliminar las conjeturas improvisadas, el pensamiento no explicado, injustificado e intuitivo que en ocasiones acompaña a la mayoría de las decisiones que se toman con respecto a problemas complejos. Son utilizados en el campo de la economía, la política, las finanzas, la gestión medioambiental, la ingeniería civil... para ayudar al decisor a elegir una buena opción ante situaciones complejas. Estos procedimientos permiten considerar tanto criterios cuantitativos monetarios y cuantitativos no monetarios como criterios cualitativos. Se realizó un trabajo donde el problema consistió en seleccionar el mejor sitio para establecer un centro de atención de primer nivel que incluya los servicios de medicina general y odontología para cubrir la demanda de la población del norte del Cauca (Colombia) y se han definido tres alternativas de lugares, con algunas características de los sitios (Osorio, 2008).

El trabajo muestra paso por paso la aplicación de la técnica AHP; como conclusiones se tiene que una de las ventajas del AHP como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en problemas de selección de múltiples criterios es la posibilidad que brinda frente a la agregación de diferentes tipos de información tanto cualitativa como cuantitativa, lo cual facilita la participación en el proceso de personas con una marcada tendencia técnica, así como personas que no lo son. Muchas aplicaciones del proceso analítico jerárquico al área de mercadotecnia han sido revisadas y estudiadas por diversos autores. Wind y Saaty (1980) realizaron un trabajo, el cual inicia con una breve descripción del proceso, el cual fue desarrollado por Thomas Saaty en 1971, incluyendo los 8 puntos para su aplicación. La parte fundamental del trabajo consistió en estudiar algunas aplicaciones de la técnica a diversas áreas como: las decisiones de la cartera de una empresa cuya gestión se ocupa de la determinación de la cartera del destino deseado y la asignación de recursos; la determinación de la dirección del desarrollo de un nuevo producto y la generación y evaluación de estrategias de mercadotecnia. Saaty afirma que futuros trabajos de investigación de la técnica podrían ser: conceptualmente, se puede desarrollar un conjunto de estructuras jerárquicas generales para

proporcionar una gestión con una base que pueden desviarse en la estructuración de la jerarquía, la estructuración, recopilación de datos y el análisis de las jerarquías para los problemas de asignación, la simplificación del procedimiento de recogida de datos. Aunque algunos diseños de acceso directo se han utilizado para reducir el número de juicios por pares necesarias para el análisis, se requiere un esfuerzo más sistemáticos para explorar la idoneidad de los diseños experimentales de tipo factorial fraccionario y dado que hay una serie de áreas en las que el AHP es sólo uno de una serie de posibles enfoques, debe realizarse estudios para comparar los resultados de los enfoques de la competencia, evaluar las condiciones en que cada uno es más apropiado y explicar las ventajas, en su caso, de la incorporación de AHP con otros procedimientos de investigación.

Como parte de la técnica AHP, se debe calcular la medida de consistencia de ésta, para saber qué tan válidos son los resultados obtenidos; es por ello que Cheng (2003) realizó un trabajo cuyo objetivo principal fue proporcionar alguna evidencia empírica para apoyar la medida de la consistencia como un componente esencial en el proceso analítico jerárquico. En este estudio, las estrategias se han adoptado para comparar el AHP con el método de calificación sencillo, los resultados indican que las respuestas al método AHP que tiene consistencia aceptable, se mostró ser coherente con las respuestas del método de calificación sencillo. Esto apoya el supuesto de que las respuestas son consistentes o fiables. Trabajos muy parecidos son los desarrollados por Kumar (2002), donde se hizo un análisis de benchmarking en proyectos de evaluación de las organizaciones del caribe utilizando AHP. Este estudio demostró como el proceso analítico jerárquico, se puede utilizar para la evaluación comparativa de las prácticas de gestión de proyectos; toda la metodología fue aplicada en las organizaciones del sector público del Caribe con las organizaciones del sector petrolero hindú y las organizaciones del sector de infraestructura en Tailandia y Reino Unido.

Respecto al uso de la técnica como método de validación de modelos matemáticos, González (2013) planteó el modelo integrador para el marketing social, integrando los diferentes enfoques del marketing social de países desarrollados y países en desarrollo, centrándose en tres variables para lograr el beneficio público: (1) el marketing mix (2) la esencia de los comportamientos, los productos y servicios y (3) el comportamiento deseado. En Tunja, Boyacá, Colombia, las enfermedades de transmisión sexual han aumentado su peso en la mortalidad, por lo tanto se requiere determinar si el modelo es válido y aplicable a la realidad de los universitarios Duitamenses, en cuanto a programas de prevención, control y promoción, relacionados con este tipo de enfermedades. Esta propuesta de investigación, se dirige a validar dicho modelo por medio de la modelación de ecuaciones estructurales.

García et al. (2010), diseñó y validó un modelo de Balanced Scorecard para la I+D aplicado a las empresas del sector químico en España; se utilizó la metodología de la validación de escalas basada en diseñar un multi-indicador (escala o constructo) más global y fiable, a partir del análisis de los indicadores individuales utilizados en la medición del rendimiento de la I+D. En primer lugar se ha desarrollado el modelo general de Balance Scorecard para la I+D a partir de la revisión de la literatura y de un modelo ya validado en su contenido (García Valderrama, Mulero Mendigorri y Revuelta Bordoy, 2008). Posteriormente se realizó el proceso de validación empírica de la escala a partir de una muestra de 95 empresas del sector químico en España. Finalmente, se aporta evidencia empírica acerca de la unidimensionalidad de la escala, fiabilidad, y validez concurrente.

Otra manera en que se validan los modelos en la literatura es mediante el método Delphi según lo indica el trabajo presentado por Gómez de Liaño (2012), el objetivo de la investigación fue encontrar procedimientos que garanticen altos niveles de validez; se presenta la metodología Delphi como técnica para el estudio de la validez de contenido. Esta metodología presenta una ventaja esencial respecto a los métodos de expertos tradicionales: su aplicación es flexible y dinámica permitiendo una mayor retroalimentación entre los expertos participantes. Así mismo lo plantea García-Aracil (2012) en su trabajo titulado “indicadores para la evaluación de las instituciones universitarias: validación a través del método Delphi”; donde el objetivo fue Evaluar el desempeño de las universidades es complicado ya que se trata de una institución

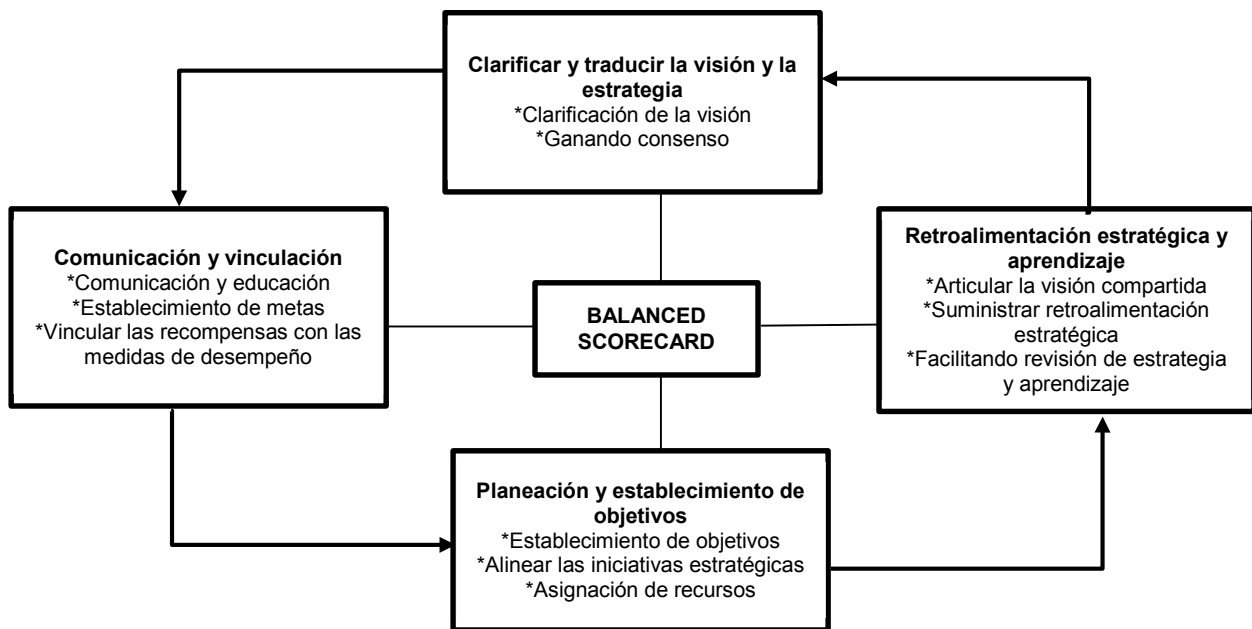
multidimensional que desarrolla numerosas actividades en base a sus tres principales misiones: docencia, investigación y transferencia de conocimiento. El sistema de indicadores propuesto ha sido validado a través del método Delphi que ha permitido alcanzar cierto consenso entre los expertos participantes. La identificación realizada sirve de ayuda para tomar decisiones en torno a qué indicadores deben ser incluidos en los modelos de evaluación universitaria.

METODOLOGÍA

Representación del Problema

El marco estratégico propuesto por Kaplan y Norton (1996), se muestra en la Figura 3. Es este marco el que utilizan las empresas innovadoras como un sistema de gestión estratégica, para gestionar su plan estratégico a largo plazo. Se realizó un estudio previo, cuya finalidad fue encontrar las principales perspectivas estratégicas en las empresas de manufactura en la Región de Córdoba, Veracruz. Encontrándose 5 perspectivas en común. La Figura 4 muestra esquemáticamente la metodología que se utilizó en el trabajo “Desarrollo de un modelo matemático para proceso multivariables mediante balanced six sigma” desarrollado por Díaz (2014).

Figura 3: Marco Estratégico del Programa Balanced Scorecard

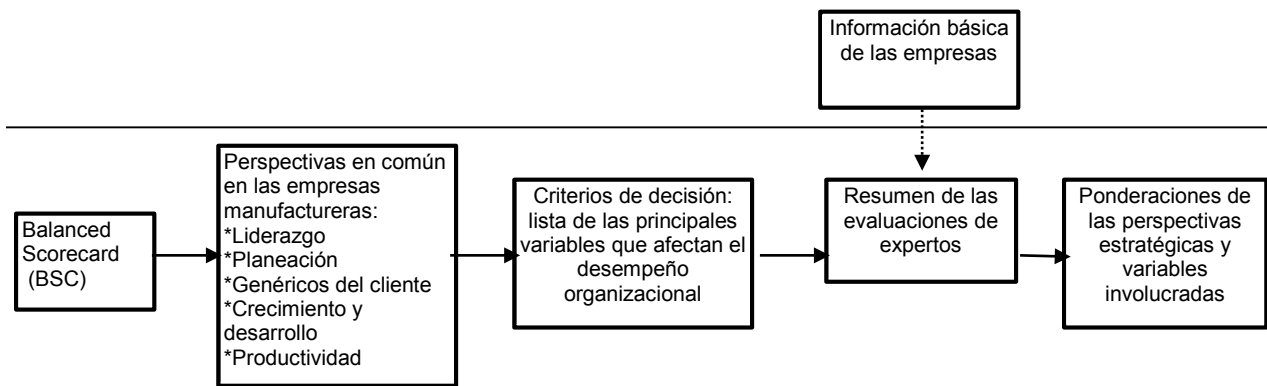


El marco estratégico propuesto por Kaplan y Norton (1996),

Evaluación de los Criterios de Valoración y las Alternativas

Primeramente se construyó la estructura jerárquica analítica (AHP) mostrada en la Figura 5. En el nivel más alto se encuentra el objetivo general, el segundo nivel contiene 5 objetivos, que incluyen liderazgo, planeación, genéricos del cliente, crecimiento y desarrollo y productividad. Los criterios de decisión del tercer nivel son las medidas básicas de cada perspectiva del BSC en las empresas manufactureras. Para más detalles consultar Díaz, 2014.

Figura 4: Metodología de Investigación



En esta figura se muestra de manera esquemática los pasos de la metodología seguida para la realización de este trabajo de investigación.

Figura 5: Estructura Jerárquica de AHP

Nivel 1 Objetivo General	Nivel 2 Objetivos/ Factores	Nivel 3 Criterios De Decisión /Medidas De Desempeño
Ponderaciones de las perspectivas estratégicas y variables involucradas	Liderazgo	Generación de la estrategia Investigación de expectativas Cumplimiento de planeación estratégica Proyectos alineados con la estrategia Órdenes recibidas Rendimiento del proceso
	Planeación	Juntas de planeación estratégica Proyectos exitosos Búsqueda de nuevos clientes y mercado Servicio postventa Percepción del cliente sobre el producto
	Genéricos del cliente	Rapidez de entrega Iniciativa de los empleados Adquisición de clientes Retención de clientes Satisfacción de clientes Quejas de clientes
	Crecimiento y desarrollo	Base de perfiles de clientes Devolución de productos Trabajo en equipo Ejecutivos involucrados en BSC Alineación de objetivos con BSC Sensibilidad de empleados Incentivos a equipos de trabajo Salarios adecuados Rotación de personal Desperdicio del proceso
	Productividad	Análisis y recepción de materia prima Productividad Tiempo de ciclo Producto no conforme Eficiencia del proceso Re-trabajos Procesos bajo control estadístico Análisis ABC Herramientas adecuadas Puntualidad y asistencia

Estructura jerárquica analítica (AHP). En el nivel más alto se encuentra el objetivo general, el segundo nivel contiene 5 objetivos, que incluyen liderazgo, planeación, genéricos del cliente, crecimiento y desarrollo y productividad.

Escala AHP

La técnica usa la escala del principio de “comparación por pares” sugerida por Thomas L. Saaty, descrita líneas arriba (revisión literaria). Se construye una matriz, la cual se entrega a los expertos para que manifiesten sus valoraciones. Para llenar esta matriz, es necesario ajustarse al significado de la escala utilizada (ver Tabla 1).

Tabla 1: Escala AHP

Importancia /Preferencia	Intensidad	Significado
1	Igual o diferente a...	Al comparar un elemento con otro, hay indiferencia entre ellos.
3	Ligeramente más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero es ligeramente más importante o preferido que el segundo.
5	Más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera más importante o preferido que el segundo.
7	Mucho más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho más importante o preferido que el segundo.
9	Absolutamente o muchísimo más importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo más importante que el segundo.

La tabla presenta la escala con su respectiva interpretación de intensidad y significado correspondiente dentro de la metodología del Proceso Analítico Jerárquico. Esto permitirá entender la matriz por pares que llenen los expertos de las empresas manufactureras.

Los valores (pares) 2, 4, 6 y 8; se utilizan cuando al comparar dos elementos entre sí, el primero está en un grado de importancia/preferencia intermedio entre los dos valores adyacentes impares de la escala. Para el caso de los valores recíprocos de la escala, la interpretación se invierte, esto es:

Tabla 2: Continuación Escala AHP

Importancia /preferencia	Intensidad	Significado
1/3	Ligeramente menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera ligeramente menos importante o preferido que el segundo.
1/5	Menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera menos importante o preferido que el segundo.
1/7	Mucho menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera mucho menos importante o preferido que el segundo.
1/9	Absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que...	Al comparar un elemento con el otro, el primero se considera absolutamente o muchísimo menos importante o preferido que el segundo.

Los valores $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{8}$, se usan de la misma forma que 2, 4, 6 y 8. La tabla presenta la escala con su respectiva interpretación de intensidad y significado correspondiente dentro de la metodología del Proceso Analítico Jerárquico para los valores recíprocos. Esto permitirá entender la matriz por pares que llenen los expertos de las empresas manufactureras.

El Método Delphi: El Método Delphi es un método de decisión en grupo desarrollado por Dalkey y Halmer (1963) en la Fuerza Aérea de los Estados Unidos. La técnica requiere que el cuestionario se repita de forma individual por los participantes que están involucrados de forma directa en el conflicto, a los que se les llama expertos. Es un proceso de respuestas anónimas para obtener de cada participante/experto la retroalimentación de la evaluación en un tema específico. La metodología usualmente toma entre 2 a 5 rounds antes de llegar a un consenso de los resultados globales.

Estimación de los pesos para la ecuación de evaluación de desempeño corporativo: La ecuación resultante del estudio mencionado anteriormente (Díaz, 2014), se muestra a continuación:

$$IGDC = \sum_{k=1}^5 w_k IPD_k \quad (1)$$

En donde w_k representa al correspondiente factor de ponderación del indicador parcial de desempeño IPD_k . La finalidad de este trabajo es encontrar dichos pesos para tener la ecuación de desempeño corporativo completa.

RESULTADOS

En el estudio se decidió utilizar 2 rondas, todos los participantes son expertos en empresas manufactureras de la zona Córdoba, Veracruz. Los cinco expertos participantes en la sesión de consenso ocupan los puestos de Directores Generales o bien Presidentes en las principales empresas manufactureras de la zona (2 de Orizaba, 1 de Córdoba, 1 de Ixtaczoquitlán y 1 de Amatlán de los Reyes). Este trabajo presenta el resultado de dos años de investigación (2012-2014) en relación a la validación, mediante la aplicación del enfoque del Proceso Analítico Jerárquico. La Tabla 3 muestra un resumen de la información demográfica de las empresas manufactureras que se analizaron en el estudio. Esto se replicó para cada una de las 5 áreas resultantes: liderazgo, planeación, genéricos del cliente, crecimiento y desarrollo y productividad. Los resultados de los juicios emitidos por los cinco participantes se presentan en la Tabla 4.

Tabla 3: Resumen de la Información Demográfica de las Empresas

Municipio	Porcentaje de la Muestra	Sector Manufacturero
Orizaba	34.36%	Embotelladoras (refresco, cerveza), metal-mecánica, alimentarias (café, frituras), hilos.
Córdoba	56.82%	Azúcar, aceite, productos químicos, bebidas, café, artículos de plástico, piezas y tornos, salsas, alimento para aves,
Amatlán de los Reyes	0.44%	Café, refresco, ingenios azucareros.
Ixtaczoquitlán	7.92%	Cemento, celulosa, papel, libretas, cafeína pura, café, embotelladoras.
Fortín	0.44%	Embotelladoras, fabricación de piezas industriales.
Total	100%	

Tabla 4: Resumen de Pesos de Factores

Factor/Objetivo	Peso
Liderazgo	0.38931698
Planeación	0.12464758
Genéricos del cliente	0.16495624
Crecimiento y desarrollo	0.12591271
Productividad	0.19516648

Los valores 1/2, 1/4, 1/6, 1/8, se usan de la misma forma que 2, 4, 6 y 8. La tabla presenta los valores obtenidos por los expertos de empresas manufactureras, los cuales evaluaron las cinco áreas principales en las empresas, encontrando los pesos mostrados en la tabla. Donde se aprecia que el de mayor peso es liderazgo seguido de productividad.

Con la finalidad de validar los resultados obtenidos de los jueces o expertos en el área, se realizó una prueba de consistencia de los jueces. Dicha prueba está basada en el índice de consistencia (CI) dado por la fórmula:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2}$$

En la literatura se tiene el criterio de aceptación que si CR (Ratio de consistencia, el cual es igual al índice de consistencia entre os índices aleatorios) es menor o igual que 0.10, la consistencia se considera adecuada; sin embargo Alonso y Lamata (2006) realizaron una investigación científica para desarrollar un nuevo criterio de decisión para la aceptación o rechazo en la prueba de hipótesis para medir la consistencia en el AHP. Basándose en este estudio, se calculó el valor de λ_{max} , el cual dio como resultado 5.208, por lo que se concluyó que la consistencia de la matriz por pares es adecuada. Con esto es posible completar la ecuación IGDC, quedando de la siguiente manera:

$$IGDC = 0.39052 IPD_1 + 0.1248 IPD_2 + 0.1655 IPD_3 + 0.1261 IPD_4 + 0.1994 IPD_5 \tag{3}$$

Comparación de los Pesos Obtenidos Por ACP y AHP Para Cada Área u Objetivo

Finalmente, la Tabla 5 contiene los resultados obtenidos mediante la aplicación de análisis de componentes principales (ACP) con los resultados arrojados por el AHP.

Tabla 5: Comparación de Pesos Obtenidos Para Criterios de Decisión

Nivel 1 Objetivo General	Nivel 2 Objetivo	Nivel 3 Criterio de Decisión	Peso Ahp	Carga Factorial Acp
Ponderaciones de las perspectivas estratégicas y variables involucradas	Liderazgo	1 generación de la estrategia	0.16137309	0.555*
		2 investigación de expectativas	0.3713829	0.521*
		3 cumplimiento de planeación estratégica	0.05140739	0.155*
		4 proyectos alineados con la estrategia	0.19133593	0.521*
		5 órdenes recibidas	0.16523021	0.105*
		6 rendimiento del proceso	0.05927049	0.337*
		7 juntas de planeación estratégica	0.0808488	0.21*
	Planeación	8 proyectos exitosos	0.22522296	0.068*
		9 búsqueda de nuevos clientes y mercado	0.13739369	0.117*
		10 servicio postventa	0.07769613	0.332*
		11 percepción del cliente sobre el producto	0.12175614	0.218*
		12 rapidez de entrega	0.17858019	0.332*
		13 iniciativa de los empleados	0.17850208	0.332*
		14 adquisición de clientes	0.1539183	0.378*
	Genéricos del cliente	15 retención de clientes	0.15966553	0.378*
		16 satisfacción de los clientes	0.18254202	0.378*
		17 quejas de clientes	0.12396879	0.378*
		18 base de perfiles de clientes	0.15713856	0.195*
		19 devolución de productos	0.11344822	0.378*
		20 trabajo en equipo	0.10931858	0.235*
		21 ejecutivos involucrados en BSC	0.10629977	0.105*
	Crecimiento y desarrollo	22 alienación de objetivos con BSC	0.13844599	0.399*
		23 sensibilización de empleados	0.27797827	0.399*
		24 incentivos a equipos de trabajo	0.15022093	0.399*
		25 salarios adecuados	0.14038878	0.354*
		26 rotación de personal	0.06733873	0.399*
		27 desperdicio del proceso	0.11932754	0.399*
		28 análisis y recepción de materia prima	0.10081726	0.271*
	Productividad	29 productividad	0.18286282	0.271*
		30 tiempos de ciclo	0.06582441	0.271*
		31 producto no conforme	0.09281037	0.252*
		32 eficiencia del proceso	0.04475666	0.252*
		33 re-trabajos	0.08392884	0.221*
		34 procesos bajo control estadísticos	0.15284874	0.252*
		35 análisis ABC	0.08875788	0.271*
		36 herramientas adecuadas	0.12014209	0.271*
		37 puntualidad y asistencia	0.06725095	0.271*

*significativo al 5%. La tabla muestra los componentes de la técnica de Proceso Analítico Jerárquico; el objetivo principal de la aplicación de la técnica es determinar las ponderaciones de las perspectivas estratégicas y variables involucradas; los cinco objetivos que son las áreas relevantes en las empresas manufactureras y finalmente los criterios de decisión, que son los indicadores individuales por área empresarial. Las últimas columnas muestran los resultados de las ponderaciones del proceso y su comparación con los resultados obtenidos a través del Análisis de Componentes Principales.

CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo, que consiste en la validación de un modelo matemático que valora el desempeño corporativo a través de técnicas estadísticas multivariantes y el AHP, ha sido alcanzado mediante el uso de ambas metodologías. La información presentada y la especificación de las etapas de investigación, sustentadas principalmente en la metodología del AHP, muestran claramente el acuerdo de la jerarquización de las variables que integran la evaluación del desempeño (Tabla 5), usando tanto métodos multivariantes, como el proceso analítico jerárquico.

Es importante precisar que el estudio se aplicó a organizaciones de manufactura situadas en una zona geográfica determinada, lo cual permite acotar los resultados de la investigación a este tipo de empresas. Queda todavía mucho por hacer, por ejemplo, extender el estudio a otro tipo de organizaciones como las de servicios, educativas, etc. Trabajos futuros podrían dirigirse en esa dirección. Así mismo, es importante resaltar que el campo de la investigación teórica sobre el desarrollo de modelos estadísticos-matemáticos queda aún por atender.

REFERENCIAS

- A., D. A. (2003). The Future of the Balanced Scorecard: an Interview with Profesor Dr. Robert Kaplan. *Measuring Business Excellence*, 7(1), 30.
- Antony J. and R. Banuelas. (2002). Key ingredients for the effective implementation of six Sigma Program. *Measuring business excellence*, 6(4), 20-27.
- Aung, B. K. (2005). Evolution toward excellence: use of business excellence program in Canada. *Measuring business excellence*, 9(4), 4-15.
- B., D. S. (2006). An Investigation of the Development, implementation and effectiveness of the Balanced Scorecard: A Field Study. College of Engineering Alabama, the University of Alabama.
- Banker R. D., H. C. (2004). The Balanced Scorecard: Judgment effect of performance measures linked to strategy. *The Accounting review*, 79(1), 1-23.
- Champney, C. R. (2006). *The Balanced Scorecard and Metrics*.
- Chen, s. C. (2005). Promoting Customer Satisfaction by Applying Six Sigma: An Example from the Automobile Industry. *Quality Management Journal*, 12(4), 21-33.
- Cheng, E. W. L. (2003). Utility of consistency measure in the analytic hierarchy process. *Construction innovation*, ; 321-247.
- Cuddeback, G. W.-O. (2004). Detecting and statistically correcting sample selection bias. *Journal of Social Service Research*, 30(3), 19-33.
- Dattalo, P. (2008). *Determining Sample Size. Balancing power, precision and practicality*. Estados Unidos: Oxford University Press.
- Díaz, Castellanos Elizabeth E. (2014). Desarrollo de un modelo matemático para procesos multivariantes mediante balanced six sigma. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

Devor, R. e. (1992). *Statistical Quality Design and Control. Contemporary Concepts and Methods.* Prentice Hall.

Dey, Prasanta Kumar. (2002). Benchmarking project management practices of Caribbean organizations using analytic hierarchy process. *Benchmarking an International Journal*, 9, 4, 326-256. Proquest.

Efron, B. (1979). Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *The Annals of Statistics*, 7, 1-26.

Efron, B., & Tibshirani, R. (1993). *An Introduction of the Bootstrap.* Nueva York, Londrés: Chapman and Hall.

García Aracil, Adela, Palomares Davinia. (2012). Indicadores para la evaluación de las instrucciones universitarias: validación a través del método Delphi. *Revista Española de Documentación Científica*. 35, 119-144. ISSN 0210-0614.

García Valderrama, Teresa, Reuelta, Daniel, Mulero, Eva. (2010). Diseño y validación de un modelo de Balanced Scorecard para la I+D: evidencia empírica en empresas del sector químico en España. *Revista Española de Financiación y Contabilidad*. 49, 147. 477-520.

González Calixto, Mónica Bibiana. (2013). Validación del modelo integrador para el marketing social: análisis multivariante con ecuaciones estructurales. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*. 8;2, 1700-1703.

Gomez, Beatriz; Pascual, David. (2012). La metodología Delphi como técnica de estudio de la validez de contenido. *Anales de Psicología*. 28, 3, 1011-1020.

Kaplan, R., & Norton, D. (2004). *The Strategy Map: Guide to Aligning Intangible Assets.* *Strategy Leadership*, 32(5), 10-17.

KRieguer, J. (2004). *The Balanced Scorecard and Six Sigma- Building an Integrated Approach.* A Balanced Scorecard Collaborative NetConference.

Kulkarni Sagar, S., Ding, X., & Bishu, R. R. (2008). Integration of balance scorecard with six sigma. *Proceedings of the 2008 industrial engineering research conference.*

Ragowsky, G. D. (2005). A multi-level Approach to Measuring the Benefits of an ERP system in Manufacturing Firms. *Information Systems Management Journal.*, 22(1), 18-25.

López Inmaculada, et al. (2014). Estudio Cualitativo sobre tutoría universitaria a través del método de panel de expertos. *Higher Learning research communications*. 4, 1. 73-90.

Ramírez, L. (2003). Modelo para el desarrollo de la fase de reconocimiento previa al DMAIC de seis sigma. ITESM, Posgrado, Monterrey.

Reidenbach, E., & Goeke, R. W. (2007). Six Sigma, value and competitive strategy. *Quality Progress*, 40(7), 45.

Rudner, L., & Shafer, M. M. (1992). Resampling: a marriage of computers and statistics. Obtenido de <http://PAREonline.net/getvn.asp?v=3&n=5>

S., F. (2003). *Fracasan Pymes por falta de visión.* Editora Paso del Norte, S. A.

Toledo, Roger; Engles, Alejandra Ahumada, Victor. (2011). Evaluation of risk factors in agriculture: an application of the analytical hierarchical process (AHP) methodology. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 71 (1), 114-121.

Osorio, Juan Carlos, Orejuela, Juan Pablo. (2008). Proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*. 39, 247-252. ISSN 0122-1701.

Paredes labra, Joaquín, Herrán Agustín. (2010). Validación del cuestionario de autoevaluación de la creatividad en la enseñanza universitaria CACEU.2010. *Estudios sobre educación*. 21, 41-59.

Martínez Elena Rodríguez. (2007). Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME. *Anuario jurídico y económico escorialense*. 523-542. ISSN 1133-3677.

Winf, Yoram; Saaty, Thomas L. (1980). Marketing applications of the analytic Hierarchy process. *Management Science*. 26, 7. 641.

BIOGRAFÍA

Elizabeth E. Díaz Castellanos es Doctora en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Profesora a nivel profesional y Directora de Carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Central de Veracruz, con dirección 21 sur 1103 Barrio Santiago, Puebla, México. Correo electrónico elizabethaugenia.diaz@upaep.edu.mx

Carlos Díaz Ramos es Doctor en Ciencias en Ingeniería Industrial por el Instituto Tecnológico de Orizaba. Ha sido Presidente de la Academia de Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico de Orizaba. Profesor investigador de la Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, con dirección Prolongación de Oriente 6 1009, Rafael Alvarado, 94340 Orizaba, Ver., México. carlosdiazramos@yahoo.com.mx

Luis A. Barroso Moreno es Profesor Asistente del Tecnológico de Monterrey Campus Central de Veracruz con Doctorado en el área de Ingeniería en Sistemas por la Texas Tech University. Ha sido Director del Departamento de Ingeniería en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Av. Eugenia Garza Sada no. 1, Córdoba, Veracruz, México. Luis.barroso@itesm.mx

Beatriz Pico González es Doctora en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología por la Universidad Autónoma del Estado de Puebla. Actualmente funge como coordinadora del programa de Doctorado y Maestría en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Con dirección 21 sur 1103 Barrio Santiago, Puebla, México. Correo electrónico Beatriz.pico@upaep.mx

