



## **CAPÍTULO 3: Estado del arte**

En este apartado, se va a hacer una revisión del estado del arte sobre el uso del AHP como herramienta de toma de decisión multicriterio para la selección de sistemas de gestión de la producción además de una clasificación de los mismos y sus características.

### **3.1 Introducción**

Hasta ahora en organizaciones en general y principalmente dentro de las empresas industriales, se habla del concepto de Toma de Decisiones (TD) o Decision Making (DM) como un conjunto de decisiones que están tomadas por los ejecutivos o Decisión Makers (gerente, administrador, decisor) y eso hace que el éxito o el fracaso depende de las decisiones que tome este colectivo. A continuación se introduce el concepto de la toma de decisiones.

La toma de decisiones es un proceso de selección entre varias alternativas, basado en un conjunto de criterios, para alcanzar uno o más objetivos, Simon (1960).

Para una adecuada toma de decisión en organizaciones, es necesario tener un conocimiento de aspectos económicos, sociales, técnicos, financieros, administrativos, etc., de la empresa y de los efectos positivos y negativos que lleven a cumplir con su misión y visión, de acuerdo al acierto o desacierto con que se tomen esas decisiones.

La ciencia que recoge el concepto de la toma de decisiones es la Investigación de Operaciones (IO). La parte de investigación en el nombre, significa que la investigación de operaciones usa un enfoque similar a la manera en que se lleva a cabo la investigación en los campos científicos establecidos. En gran medida se usa el método científico para investigar el problema en cuestión. En particular, el proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema incluyendo la recolección de los datos pertinentes. El siguiente paso es la construcción de un modelo científico (por lo general matemático) que intenta abstraer la esencia del problema real.



Mitten (1999), “Non linear Multiobjective Optimization”, hace una clasificación (la más extendida) de los métodos de la toma de decisión y reside en la interpretación del concepto criterios y diferencia entre tres grandes familias: la toma de decisión basada en objetivos o múlti-objetivos MODM (Multiple Objective Decision-Making) (tabla 3.1). La toma decisión basada en atributos o multi-atributos MADM (Multiple Attribute Decision Making) y la toma de decisión basada en criterios MCDM (Multiple Criteria Decision-Making).

<b>MCDM</b>	<b>MADM</b>	<b>MODM</b>
Criterio	Atributos	Objetivos
Objetivo	Implícito	Explicito
Atributo	Explicito	Implícito
Restricción	Inactivo (Incorporada en los atributos)	Activo
Alternativa	Numero finito (discreto)	Numero infinitos (continuo)
Interacción con el DM	Escasa	Mucha
Uso	Selección/ Evaluación	Diseño

Tabla 3.2 La variantes MCDM: MADM vs MODM

Fuente: Yoon y Hwang (1981)

Los MADM y MODM son ramas o variantes de los MCDM:

Los MADM son métodos de ayudas para tomar decisiones mediante la elección entre alternativas finitas (discretas), cuyas preferencias son conocidas a priori y que se caracterizan por atributos diferentes, es decir, cada alternativa se clasifica en términos de diferentes atributos. El objetivo es obtener el ranking más alto (más beneficioso) en términos tantos atributos como sea posible. (Fuente: Non Linear Multiobjective Optimization)

Los MODM consisten en determinar la mejor alternativa entre un número de alternativas continuo (infinito) no conocidas a priori, dado un conjunto de funciones objetivo limitadas por varias restricciones. (Non Linear Multiobjective Optimization, Kaisa Mitten)

Koski (1984) destaca la diferencia notoria entre ambos es que los MADM y los MODM. Los MADM se usan para la selección/ evaluación de las alternativas por parte





del decisor o DM a diferencia de los MODM que en primer lugar, diseñan las alternativas que mejor satisfacen las restricciones del problema a través de la interacción con el DM.

### 3.2 Revisión bibliográfica: La toma de decisión y el AHP

Los primeros en tratar los conceptos MADM fueron Churchman *et al.* (1957) “aplicación para la selección de política de inversión en negocios”. MacCrimmon (1968), en una primera revisión de los MADM, haciendo clasificación de una colección de diez métodos según la dimensión de atributos (simple, intermediaria y completa). En su segunda revisión (1973), ha añadido otros métodos y ha hecho una clasificación de los MADM según estructura, preferencias de entrada, etc.

Keeney y Raiffa (1976), Hwang y Maryland (1979), definen los atributos como las características, cualidades o parámetros de rendimiento de las alternativas y los objetivos son considerados como las direcciones para hacer a mejor medida lo percibido por el decisor o el Decision Maker (DM). Juntos definen los 17 mejores métodos MADM.

MacCrimmon (1973) divide los MCDM en los tipos MADM y MODM, Hwang y Maryland (1979) sostienen que en términos de MCDM, criterios indican los atributos y / o objetivos, "los criterios son las normas de sentencia o reglas que se usan para probar la aceptación.

Dyer y Zionts (1992) han creado un histórico sobre las ideas básicas de los MCDM y sus variantes. Un repaso de la clasificación de estos métodos y líneas futuras de investigación aparecen en Korhonen *et al.* (1992a)

Yoon y Hwang (1995) hacen la distinción entre la toma de decisión MADM, MODM. Los MCDM han sido editados y clasificados por Cochrance y Zeleny, (1973-1978).

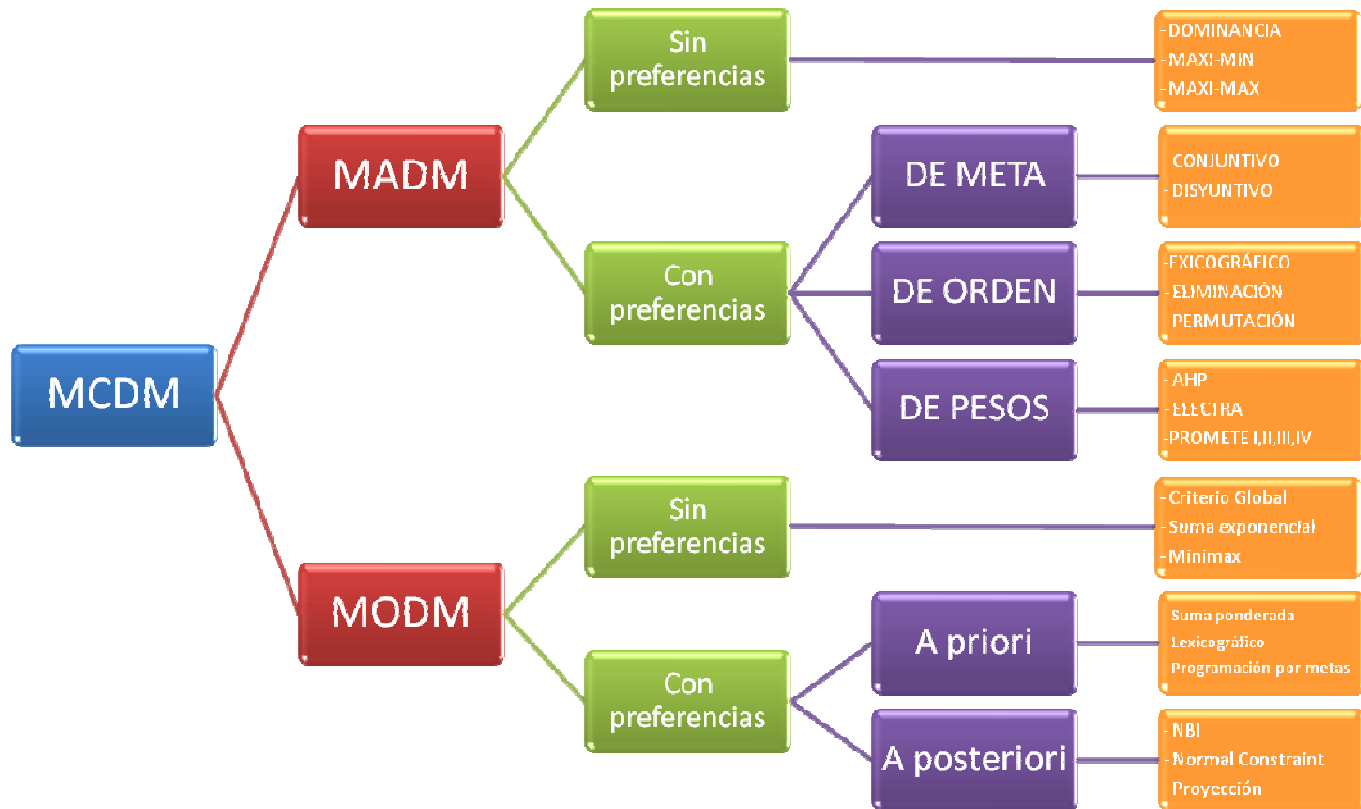


Figura 3.2: clasificación de los MCDM / tipo y preferencias, Yoon y Hwang (1981)

En la literatura sobre el uso de técnicas de análisis jerárquico AHP como herramienta de toma de decisión para la selección del sistema de gestión de la producción aparecen diferentes enfoques de selección, Así que centrándonos en la propia función producción, se diferencian dos enfoques fundamentales: El enfoque de las prioridades competitivas y el enfoque de las prioridades de diseño.

En referencia al primer enfoque, Leong et. al. (1990), definen las prioridades competitivas como un “...conjunto concreto de objetivos o metas para la manufactura”. Una revisión cronológica de la literatura, revela que a lo largo del tiempo han surgido nuevas prioridades competitivas para la fabricación. El estado del arte, permite constatar la existencia de 7 prioridades competitivas básicas en producción: costos, calidad, entregas, flexibilidad, servicio, innovación y responsabilidad ambiental, Fernández (2003), Dangayach G.S. & Deshmukh (2001). En este punto, es necesario aclarar que en la literatura especializada se han utilizado diversas denominaciones, tales como tareas de producción (Skinner, 1974), metas de fabricación (Miller & Roth, 1988), objetivos de producción, Anderson *et al.* (1989), prioridades competitivas, Leong *et al.*(1990), entre otras.



Tabucanon *et al.* (1994) usaron la prioridad flexibilidad y desarrollaron un sistema de ayuda para un problema de selección multicriterio de maquinaria para sistemas de fabricación flexible, y utilizaron la técnica del AHP para el proceso de jerarquización y selección.

Bayazit (2005) utiliza AHP para evaluar el uso los sistemas de gestión de producción flexibles “Flexible Manufacturing Systems” (FMSs). Los FMS son sistemas de producción altamente automatizados que consisten en la manipulación de materiales automatizados y máquinas de transferencia trabajando juntos bajo el control de un equipo integral. En este estudio, una aplicación muy amplia del AHP a un caso real para determinar si una empresa turca “Tractor Manufacturing Turkish (TTM) debe aplicar los FMS en toda la planta.

Ayag y Ozdemir (2006). Además de esto, la selección del equipo tiene un gran efecto sobre la competitividad global de la empresa. El uso del equipo adecuado puede mejorar el proceso de producción, facilitar la utilización eficaz de la mano de obra, aumentar la productividad y mejorar la flexibilidad del sistema. Sin embargo, con la amplia gama de equipos disponibles hoy en día, la determinación de la mejor alternativa para un equipo de producción en una empresa concreta no es una tarea fácil (Chan *et al.* 2001).

Bañuelas y Antony (2007) usan el concepto de SAHP “proceso de jerarquía estocástico analítico” que proporciona un mecanismo para alcanzar la selección más eficaz de alternativas en forma de que consideran criterios multi-y contrarios que usan la información cuantitativa y cualitativa bajo la incertidumbre. En contraste con el proceso de jerarquía tradicional analítico (AHP), el SAHP usa distribuciones probables para incorporar la incertidumbre que la gente tiene en la convergencia sus juicios de preferencias en una escala de Likert. El vector de prioridades esta calculado usando la simulación de Monte Carlo, las clasificaciones finales están analizadas para la inversión de fila que usa el análisis estadístico, y aspectos directivos son presentados sistemáticamente.



Giner y Niclós (2009) estudian una aplicación del AHP enfocada a la evaluación de las Mejores Técnicas Disponibles “MTD” que deben implementarse en un sistema de gestión de producción. La implantación de una MTD conlleva una inversión por parte de la empresa, que consiste generalmente en la instalación de un equipamiento o maquinaria concreta. La correcta selección de un equipo es, además, una actividad muy importante para un sistema productivo industrial, por el hecho de que un equipamiento inadecuado puede afectar negativamente al rendimiento global y la productividad del mismo. Los resultados del sistema productivo (es decir, el tipo, calidad y coste) dependen básicamente de la eficacia de los equipos que se instalen

El segundo enfoque es aquel de las prioridades de diseño o rediseño del sistema de producción, Se definen aquellas prioridades que determinan en cierta medida la adopción de cada sistema de gestión de la producción en particular y caracterizan tanto el entorno externo (complejidad del producto, variedad del producto, cantidad solicitada) y entorno interno a la organización (tipo de proceso, capacitación de mano de obra, instalaciones..)

En este contexto, Shang y Sueyoshi (1995) proponen un marco unificado para facilitar las decisiones en la fase de planificación y diseño de sistemas de gestión de la producción. Dicho marco recomendado contiene tres módulos individuales: el módulo analítico jerárquico AHP, el módulo de simulación y un módulo de contabilidad (accounting procedure). Estos tres módulos están unidos bajo un solo objetivo, es el medir la eficiencia global de la empresa, donde el módulo AHP diseña los criterios no monetarios asociados con los objetivos corporativos y objetivos a largo plazo, mientras que el modo de simulación esta usado para analizar los objetivos tangibles (benéficos). Este concepto de medir la eficiencia global usando un análisis jerárquico y posteriormente simulación para analizar los objetivos es el usado en mi trabajo en la fase de diseño del modelo (criterios y alternativas) y posterior simulación del modelo.

Un estudio de referencia para mi trabajo es aquel publicado por Castro *et al.* (2005) En este trabajo se ha recurrido al AHP como herramienta para la toma de decisión entre varios tipo de sistemas de gestión como el JIT “Just In Time o justo a tiempo”, OPT “Optimized Production Technologie”, MRP “Material Requirement Planning” , PERT “Program Evaluation and Review Technique , CPM “ critical Path Method”



La aplicación práctica de un sistema u otro sistema depende del comportamiento de diversas variables que caracterizan a los sistemas de producción Goldratt, (1995), Monden (1990), Umble & Srikanth (1995), Schonberger (1992), Heizer & Render, (2001).

En este trabajo se usan dos procedimientos obtenidos sobre bases empíricas que permiten una correcta y fácil selección del tipo de sistema de gestión de la producción a aplicar en determinada empresa manufacturera, por parte de los especialistas y directivos.

El primer Procedimiento es para la determinación de las métricas de selección del tipo de sistema de gestión de la Producción. Este procedimiento fue diseñado, desarrollado y aplicado en su totalidad por un grupo de expertos y apoyados en la experiencia internacional sobre la operación de los diferentes sistemas de gestión de la producción en empresas manufactureras. Su estructura general está compuesta por un conjunto de pasos o etapas con varias retroalimentaciones (feedback) que permiten la realización de aproximaciones sucesivas hasta llegar a una solución correcta.

El segundo es un procedimiento para la determinación del tipo de sistema de Gestión de la Producción basado en la determinación de un indicador de selección atendiendo a unos parámetros primarios definiéndose puntuaciones para cada uno de ellos por parte de los especialistas de la empresa que participan en el proyecto de selección del sistema de gestión de la producción,

Bajo el mismo enfoque de diseño, Parra (1997). Centrado en el concepto de Confiabilidad en una Refinería donde el modelo AHP se diseñó sobre la base del proceso de evaluación del riesgo propuesto por Woodhouse (2000). El término Riesgo es definido por Woodhouse (1996) como: "posibilidad de ocurrencia de un evento que puede generar consecuencias sobre los humanos, el ambiente y las instalaciones". En términos generales el modelo AHP basado en el concepto del riesgo lo que busca es jerarquizar por su importancia los equipos de una instalación petrolera sobre los cuales se van a dirigir recursos de mantenimiento (humanos, económicos y tecnológicos). Como resultado, el método propuesto generará una lista de equipos críticos en función de los factores básicos de riesgo a ser evaluados:



frecuencia de fallos, niveles de detección o control de los fallos, niveles de severidad y costes de los fallos dentro del contexto operacional.

Chan (2009), publica un trabajo muy completo donde demuestra que hay un verdadero conflicto de criterios para determinar el sistema de gestión más óptimo usando el AHP. El conflicto reside entre criterios como el nivel de servicio, el beneficio neto, ocupación de maquinaria y propone elegir aquel sistema de gestión que tenga un alto nivel de beneficio neto y servicio al cliente maximizando la ocupación de maquinaria y minimizando costes de producción.

Sharma y Agrawal (2009) usan un modelo generalizado que se ha desarrollado con el uso de situaciones de demanda probabilísticas para el producto final. Las situaciones de demanda considerados son: binomial, exponencial, logarítmica normal y Poisson. Estos patrones de demanda se utilizan como insumo para las distintas políticas de gestión de la producción. Las políticas de gestión analizadas son: Kanban, CONWIP e híbridos como alternativas para el control de la fabricación y la ingeniería. Se ha recurrido al AHP para seleccionar la estrategia más adecuada. Los resultados de cálculo se han reportado con el análisis de sensibilidad después de diseñar y llevar a cabo varios experimentos.

A continuación, se muestran las principales referencias estudiadas, clasificándolas bajo dos enfoques de prioridades: las de competitividad y las de diseño. A base de los conceptos elegidos, se usa un sistema de gestión u otro. La herramienta usada para la ayuda a la decisión es el AHP en caso de que el proceso de jerarquía es analítico tradicional o el SAHP que usa distribuciones probables para incorporar la incertidumbre que la gente tiene en la convergencia sus juicios de preferencias.

En esta fase de recopilar el estado de arte sobre el uso del AHP como herramienta para la selección de sistemas de gestión de la producción, cabe destacar también el numero importante de publicaciones en la literatura sobre el uso del AHP para la selección de proveedores, cadena de suministro y localización, dada la relación directa de estos campos e importancia de los mismos en la gestión empresarial.





**Síntesis:**

Enfoque	CONCEPTO	SISTEMA DE GESTION	HERRAMIENTA	REFERENCIA
<i>Prioridades Competitivas</i>	Flexibilidad	FMS	AHP	Tabucanon et al. (1994) Bayazit (2005)
	Eficacia de equipos (calidad y coste)	FMS	AHP	Giner y Niclós (2009)
	competitividad global	Genérico	AHP	Ayag y Ozdemir (2006)
	Eficiencia global	Genérico	SAHP Simulacion Monte Carlo	Bañuelas y Antony (2007)
<i>Prioridades de Diseño</i>	Complejidad producto Variedad producto Cantidad producto Tipo proceso	JIT/ MRP / OPT/ CPM	AHP	Goldratt, (1995), Monden (1990), Schonberger (1992),
	Criterios no monetarios	Genérico	AHP Simulacion Accounting procedure	Shang y Sueyoshi (1995)
	Evaluación de riesgo Frecuencia de fallos Niveles de severidad	FMS	AHP	Parra (1997). Woodhouse (2000)
	beneficio neto ocupación de maquinaria servicio al cliente	Genérico	AHP	Chan (2009)
	Demanda probabilística: Binomial, exponencial, logarítmica normal y Poisson	Kanban, CONWIP y hibridos	AHP	Sharma y Agrawal (2009)

Tabla 3.1: Recopilación de referencias estudiadas por concepto, herramienta y sistema de gestión utilizados por cada enfoque

En la tabla 3.1 se puede observar que los trabajos se han centrado en enfoques multiobjetivo de aspectos globales de eficiencia y competitividad, pero no han sido abordados éstos de manera conjunta. Por tanto, el presente trabajo nace de la necesidad de la empresa de resolver algunos de los problemas fundamentales que se observaron en el diseño inicial de su estrategia de producción y impactan su eficiencia global, por lo que se ha llevado a cabo un proceso de rediseño que se ha centrado en la definición y jerarquización de tanto las prioridades competitivas





(calidad, plazos de entrega....) como las prioridades de diseño (variedad producto, facilidad programación....) y que se han orientado para la mejora del sistema productivo. Para tal razón, el presente trabajo expone un procedimiento basado en la técnica jerarquización basada en juicios de expertos de la fábrica y que sirve como herramienta para establecer el conjunto de tareas de fabricación y apoyar el proceso de construcción de la estrategia de producción en una fábrica de aeronaves.

Dentro del proceso de selección del sistema de gestión de producción, surge un factor de alto impacto relacionado con el uso de los recursos (presupuestos de mantenimiento, mano de obra, materiales..), en otras palabras, se tienen que tomar decisiones que permitan usar de una forma óptima, los recursos financieros, humanos y tecnológicos con el fin de poder respetar los planes de producción. Esta situación no es sencilla de resolver, ya que existen una gran cantidad de factores involucrados que generan una gran incertidumbre, por tal motivo, la aplicación de las técnicas de Proceso de Análisis Jerárquico (AHP - Analytical Hierarchy Process) pueden ayudar a disminuir esta incertidumbre y a optimizar el proceso de toma de decisiones asociado a la selección del sistema de producción que mejor optimiza todos estos criterios. De hecho, se observa en la tabla 3.1 que gran parte de los trabajos han utilizado previamente AHP para realizar este tipo de análisis.

El Modelo AHP desarrollado, propone un esquema lógico y flexible, que combina diferentes criterios de evaluación, con el fin de cuantificar de forma objetiva los niveles de importancia de los sistemas que operan dentro de una planta producción, ayudando a orientar los esfuerzos de optimización hacia aquellos sistemas realmente “importantes”.