

## EL MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS PARA LA TOMA DE DECISIONES. REPASO DE LA METODOLOGÍA Y APLICACIONES

ESTEBAN A. NANTES

Departamento de Ciencias de la Administración- Universidad Nacional del Sur  
*enantes@uns.edu.ar - esteban.nantes@gmail.com*

Fecha recepción: Marzo 2019    Fecha aprobación: Octubre 2019

### RESUMEN

La actividad empresarial, de gobierno y de administración de sistemas organizacionales en general requiere de herramientas para la toma de decisiones que permitan definir problemas complejos, estructurarlos, analizar alternativas para resolverlos y seleccionar la más adecuada de ellas conciliando los intereses de múltiples interesados.

El objetivo de este trabajo es presentar un repaso del método cuantitativo *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para dar soporte en procesos de decisión en los que se deben tener en cuenta varios criterios y donde existen múltiples alternativas y mostrar además diferentes aplicaciones para las que se ha utilizado la herramienta.

En una primera parte se hace un repaso del método AHP desde un enfoque práctico. No se profundiza en los aspectos matemáticos del método, sino en aquellos que permiten comprender su funcionamiento y el tipo de problemas en los que puede asistir.

En una segunda parte se enumeran varias aplicaciones del método recopiladas de la literatura existente, con el objetivo de ilustrar su versatilidad para la aplicación a diferentes tipos de problemas de gestión.

Por último, se elabora una breve discusión sobre el método y la importancia de incorporar métodos cuantitativos en la práctica organizacional.

**PALABRAS CLAVE:** Proceso analítico jerárquico - Decisión multicriterio - Toma de decisiones

### ABSTRACT

Business and organizational management requires tools to aid in the analysis of complex problems. Managerial decision making usually involves selecting one among multiple alternatives while reconciling the interests of many stakeholders.

The objective of this paper is to present a description of the Analytical Hierarchy Process (AHP) method and to introduce real life applications.

In a first part, AHP is described from a practical approach, focusing in those aspects that allow an understanding of how it works and the type of problems in which it can be useful.

In a second part, several applications of the method compiled from extant literature are listed, in order to illustrate its versatility for application to different types of management problems.

Finally, a brief discussion on AHP and the value of quantitative methods in organizational practice is elaborated.

**KEYWORDS:** Analytic hierarchy process - Multicriteria decisión - Decision making

## 1. INTRODUCCIÓN

La actividad empresarial, de gobierno y de administración de sistemas organizacionales en general supone la toma de decisiones para resolver situaciones problemáticas o de oportunidad. Una solución adecuada a estas situaciones debe tener en cuenta los criterios relevantes a esa decisión y la forma en que las alternativas analizadas satisfacen estos criterios, incluyendo la medida en que concilian múltiples intereses a menudo contrapuestos.

La complejidad que presentan estas decisiones se vuelve mayor cuanto más grande es el alcance del problema, la necesidad y escasez de recursos necesarios y personas o entidades que tengan intereses sobre el objeto de decisión. Esta complejidad puede abordarse a través del uso de metodologías que permitan estructurar el problema, modelarlo, y ponderar en forma eficiente los criterios que son relevantes a esa decisión, para luego definir la alternativa que mejor se ajuste a ellos.

La teoría de la decisión es un área de estudio interdisciplinaria que analiza los procesos de decisión tanto desde un enfoque descriptivo como normativo. Desde la investigación operativa se han desarrollado varios métodos que permiten abordar diferentes tipos de decisiones en entornos complejos y con criterios en conflicto o al menos contrapuestos como pueden ser costo, calidad, velocidad e intereses de los involucrados, entre otros.

La toma de decisiones multicriterio (MDCM) es una subdisciplina de la investigación operativa que estudia los métodos y procedimientos para la toma de decisiones en las que existen múltiples criterios en conflicto.

Desde la teoría de la toma de decisiones se han propuesto y desarrollado varios métodos cuantitativos para apoyar las decisiones en las que intervienen múltiples criterios o alternativas. Un método muy conocido y probablemente el más utilizado por su sencillez es el método de ponderación lineal o *scoring* (Berumen & Redondo, 2007).

Este método consiste en identificar y asignar un peso a los diferentes criterios en relación con los cuales se quieren calificar las alternativas de decisión, luego calificar cada una de las alternativas en relación con esos atributos y por último agregar las calificaciones de cada alternativa para cada criterio ponderadas por el peso definido para cada atributo. La sumatoria de calificaciones obtenidas en cada criterio ponderadas por su peso determina una puntuación o *score* de cada alternativa, el cual se puede comparar con el del resto para seleccionar una de ellas, u ordenarlas por orden de preferencia.

## 2. EL MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP)

El método anterior es sencillo de entender y explicar. Es por derecho propio un método cuantitativo y permite ser implementado sin mayores dificultades en planillas de cálculo. Sin embargo ese método resulta insuficiente

para analizar decisiones en las que el problema en sí mismo es complejo por definición y requiere satisfacer criterios de diferente tipo, incluyendo criterios subjetivos o intangibles para los que no existen escalas de medición estándar.

El método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), propuesto por Thomas Saaty en 1980 es un método cuantitativo para la toma de decisiones multicriterio que permite generar escalas de prioridades basándose en juicios expertos manifestados a través de comparaciones por pares mediante una escala de preferencia. Esta escala permite incorporar en un modelo de decisión juicios sobre intangibles, representando la dominancia o preferencia de una alternativa frente a otra en relación con un atributo.

Según Saaty (2008) el proceso de decisión con AHP se puede descomponer en los siguientes 4 pasos esenciales o básicos:

1. La definición del problema y el tipo de conocimiento que se quiere obtener.
2. La estructuración del problema a través de la descomposición jerárquica en subproblemas (criterios y subcriterios), que deben resolverse para arribar a una solución satisfactoria. Las alternativas se encuentran en el nivel más bajo de dicha jerarquía.
3. La construcción de matrices de comparación, en las que se cargan los juicios expertos mediante el método de comparación uno a uno con la escala sugerida del método.
4. Por último la síntesis de cada una de las matrices y finalmente del modelo completo para obtener la prioridad global de cada alternativa.

Seguidamente se discuten más en detalle todos estos aspectos.

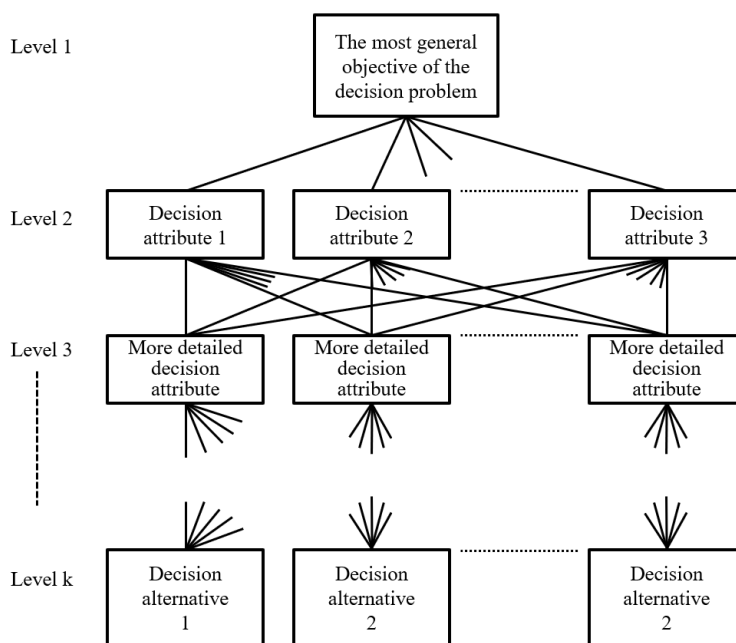
### **2.1. Cómo definir y estructurar un problema de decisión**

La estructuración de los problemas de decisión en un formato formalmente aceptable y manejable es probablemente el paso más importante del análisis de la decisión. De acuerdo con esta noción, la estructuración es el proceso creativo de traducir un problema inicialmente mal definido en un conjunto de elementos, relaciones y operaciones bien definidos (von Winterfeldt, 1980)

La tarea más creativa al abordar un proceso de toma de decisión a través de AHP es elegir los factores que son importantes para esa decisión. Una vez seleccionados esos factores se deben acomodar en una jerarquía descendiente desde el objetivo principal a criterios, subcriterios y por último alternativas en sucesivos niveles (Saaty, 1990).

Representar el problema en una estructura jerárquica permite lograr una vista general de todo el problema y a la vez analizar si el modelo representa adecuadamente la magnitud relativa de cada criterio.

En FIGURA 1 se puede ver la estructuración jerárquica de un problema con AHP. En un primer nivel se establece el objetivo general del proceso de decisión. A efectos de ilustrar el funcionamiento del método se propone un ejemplo sencillo como puede ser la compra de un vehículo familiar. En este caso entonces el objetivo definido podría ser “Comprar el auto más adecuado para la familia”.



**FIGURA 1.** Estructuración jerárquica con AHP de un problema de decisión (Zahedi, 1986)

En un segundo nivel se definen los criterios que tienen importancia y peso propio en la decisión. Estos pueden ser tangibles, medibles y representables dentro de una escala estándar, como “rendimiento en kilómetros por litro”, “precio de compra”, “capacidad del baúl” o “potencia del motor”, pero también pueden ser intangibles para los que no existen escalas sino percepciones subjetivas como “prestigio de la marca”, “confort”, “seguridad” o “disponibilidad de colores y accesorios”.

Esos criterios pueden a su vez desdoblarse indefinidamente siempre y cuando esto sea relevante al objeto de decisión, pero es válido aclarar que cada aperturación hará más compleja la estructura del modelo y trabajoso luego el proceso de decisión, por lo que no resulta conveniente extender innecesariamente el modelo con criterios poco importantes.

Una buena práctica al momento de estructurar un problema de decisión es la de generar una sesión de *brainstorming* con los participantes del proceso para enumerar todos los criterios posibles que pueden tener relación con la decisión independientemente de su importancia. Luego todos los criterios enumerados deben ordenarse, priorizarse, se deben descartar los menos relevantes, generar un prototipo y eventualmente reestructurarlo hasta que refleje adecuadamente el problema de decisión que se debe resolver.

En el último nivel del modelo siempre se enumeran las alternativas de decisión. Siguiendo con el ejemplo de la compra de un auto familiar, se

enumerarán todos los modelos de vehículos que pueden ser candidatos a ser adquiridos. Por ejemplo “Ford Focus”, “Honda HRV”, “Toyota Corolla”.

**2.2.Comparación de a pares**

El método AHP exige que cada criterio y alternativa se pondereen relación con otros criterios y alternativas en la forma de comparaciones en parejas. Esto implica que se debe indicar un nivel de preferencia comparando cada elemento uno contra uno para todas las combinaciones posibles.

La justificación de esto es que la forma más efectiva de concentrar un juicio sobre algo es tomar sólo dos elementos y compararlos entre sí respecto a una sola propiedad y dejando de lado todas las demás (Saaty, 1990).

Por ejemplo, al momento de ponderar criterios en el problema de selección de un auto familiar una pregunta puede ser: ¿Qué tan preferible es la seguridad respecto al rendimiento en kilómetros por litro con relación al objetivo definido para el análisis?

A su vez, al evaluar las alternativas la pregunta será ¿Qué tan preferible es el modelo “A” respecto del modelo “B” con relación al criterio confort?

El método AHP es particularmente útil para ponderar propiedades en las que no existe una escala estándar de medida (afinidad política, honestidad, brillo percibido). Estas son conocidas como propiedades intangibles (Saaty, 1990).

Para realizar las comparaciones es precisa una escala de números que indique en cuántas magnitudes es preferible un elemento (criterio o alternativa) sobre otro con relación a la propiedad respecto a la cual se lo analiza (Saaty, 2008). Esta escala se detalla en FIGURA 2.

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	Las actividades contribuyen de igual forma al objetivo.
3	Moderada importancia	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; su predominancia se demostró en la práctica.
9	Importancia extrema	La evidencia que favorece una actividad sobre la otra es absoluta e incuestionable.
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando se necesita un compromiso de las partes entre valores adyacentes.
Recíprocos	$a_{(ij)}=1/a_{(ji)}$	Cuando i tiene un valor respecto a j igual a un entero de los indicados arriba, entonces el valor de j respecto a i es igual a 1/a.

**FIGURA 2.** Escala fundamental de preferencia (Saaty, 1980)

Existen numerosos ejemplos que validan el uso de esta escala para hacer comparaciones relativas de tangibles, intangibles y prioridades, con resultados que se acercan a los valores reales (Saaty, 2013). Estudios empíricos demostraron que la aplicación de este tipo de juicios produce resultados que aproximan las proporciones reales en escalas de distancia, área y nivel de brillo (Forman & Gass, 2001).

### 2.3. Medición absoluta o por ratings

El método anterior, en el que las alternativas se comparan de a pares al igual que los criterios para obtener sus prioridades (respecto a un criterio particular) se llama medición relativa.

Existe una segunda forma de ponderar las alternativas mediante el método que en la literatura se menciona como medición absoluta o por *ratings*.

La diferencia con la medición relativa es que en el nivel de criterios justo por encima de las alternativas se introduce una nueva capa de subcriterios que consiste en intensidades o grados de los criterios de los que dependen y se comparan de a pares entre sí. Luego las alternativas se clasifican con relación a esas intensidades y heredan la ponderación relativa que recibió su clase.

Puede sugerirse como ejemplo un problema de selección de candidatos para becas estudiantiles en el que el objetivo es ordenar según su mérito a estudiantes en una jerarquía que considere varios criterios.

En este caso, llegado al nivel de criterios justo por encima de las alternativas (los estudiantes mismos), en lugar de proceder a analizar de a pares a todos los estudiantes, se generan y comparan diferentes intensidades de cada criterio una a una respondiendo preguntas tales como: ¿Cuánto mejor es un solicitante con calificaciones excelentes que uno con calificaciones muy buenas? y ¿cuánto mejor es un solicitante con cartas de recomendación buenas que uno con cartas de recomendación pobres?

Las alternativas (los solicitantes de becas en este caso) no se comparan entre sí por pares sino que se clasifican según la categoría en la que se encuentran dentro de cada subcriterio. El modelo ya tiene definidas valoraciones para cada clase (según se explicó en el párrafo anterior), por lo que esa valoración se le asigna a cada alternativa según la clase a la que pertenece.

Las ventajas de esta modalidad respecto de la anterior se hacen evidentes cuando existen muchas alternativas para evaluar (resultando inviable comparar todas entre sí) o cuando se considera que será necesario agregar o quitar alternativas durante el proceso de análisis.

Un segundo ejemplo para ilustrar esta metodología, retomando el problema de decisión de compra de un vehículo familiar puede ser el siguiente. Para el criterio “confort”, en lugar de compararse los modelos de vehículos de a pares, se establecen las intensidades de confort: “confort alto”, “confort medio” y “confort bajo”. Luego se comparan estos subcriterios entre sí por preferencia en una nueva matriz. Por último las alternativas son clasificadas con relación al nivel de confort que poseen y son ingresadas al modelo.

Es decir, en lugar de comparar las alternativas “modelo A” contra “modelo B”, se clasifica cada modelo de auto según su nivel de confort “modelo A= confort alto” y de acuerdo a la categoría en la que cae (alto, medio o bajo) se le asigna la prioridad que obtuvo esa categoría en la comparación con las otras respecto al criterio “confort”.

En CUADRO 1 que se muestra a continuación puede verse cómo difieren ambos métodos para resolver el criterio “confort”.

<b>Medición relativa</b>
1- Generar matriz de preferencia de alternativas en relación a criterio "confort" <i>Ej.: A es muy preferible a B, B supera moderadamente a C, A es extremadamente preferible a C</i>
2- Derivación de prioridades de cada alternativa en relación con el criterio
<b>Medición absoluta</b>
1- Definir subcriterios relevantes para el criterio confort <i>Ej.: Confort alto, confort medio y confort bajo</i>
2- Generar una matriz de preferencia para estas categorías en relación con el criterio <i>Ej.: Confort alto es moderadamente preferible a medio, medio es muy preferible a bajo y alto es extremadamente preferible a confort bajo.</i> Nótese en este caso que el decisor prefiere vehículos de confort alto y medio, pero sin fuerte preferencia entre los dos. Lo que sí está seguro es que el bajo confort es muy poco deseable.
3- Derivación de prioridades de cada categoría con relación al criterio
4- Clasificar cada alternativa según la categoría que mejor lo represente. <i>Ej.: Auto A -&gt; confort alto. Auto B -&gt; confort medio. Auto C -&gt; confort bajo, y así sucesivamente para cuantos autos se quieran evaluar.</i>
5- Asignar a cada alternativa la prioridad obtenida en 3 según la categoría en la que se lo clasificó en 4.

**CUADRO 1.** Ejemplo de métodos de medición relativa vs. absoluta, elaboración propia

Este método tiene la ventaja de permitir analizar y ponderar en un ranking múltiples alternativas en muy poco tiempo, sin la necesidad de compararlas todas entre sí (Saaty, 2008).

La medición absoluta necesita estándares para poder juzgar si la alternativa es aceptable o no. Es útil en casos como la admisión de estudiantes, la permanencia en el cuerpo docente y la promoción, la evaluación de los empleados y en otras áreas donde existe un acuerdo bastante bueno sobre el estándar que luego se usa para calificar las alternativas una por una (Saaty, 1990).

La evaluación previa de rangos de datos a través del juicio experto hace posible la automatización del proceso de evaluar alternativas (Saaty, 2013).

## 2.4. Decisiones por consenso

Los juicios individuales sobre preferencia de criterios o sobre alternativas hechos por diferentes personas pueden ser combinados entre sí para formar un grupo de juicio representativo.

Esta propiedad es importante debido a que permite componer una única definición del problema representativa de la opinión de un grupo, lo cual es útil cuando es necesario conciliar visiones diferentes, multidisciplinarias o conflictivas sobre un problema, generar adhesión a la solución obtenida o sencillamente ajustar el modelo apelando al conocimiento de las masas.

En la práctica está demostrado que esto se puede lograr utilizando la media geométrica de los juicios individuales.

## 2.5. Consistencia

Los juicios reflejados en cada matriz deben guardar consistencia entre sí, esto es, respetar ciertas propiedades enteramente razonables:

**TRANSITIVIDAD:** Implica que debe respetarse el orden al comparar más de dos elementos. Si A es mejor que B y B es mejor que C, entonces A es mejor que C.

**PROPORCIONALIDAD:** Implica que además de transitividad, los juicios deben guardar relación en términos de órdenes de magnitud. Es decir, si A es 2 veces mayor que B, y B es 3 veces mayor que C, entonces A debe ser 6 veces mayor que C.

Una matriz es enteramente consistente cuando se cumple la transitividad y proporcionalidad en los juicios. No obstante, es habitual encontrar cierto nivel de inconsistencia en matrices complejas. El método AHP mide para cada matriz la inconsistencia global a partir de la relación de la inconsistencia de la matriz y un índice de consistencia aleatoria que depende del tamaño de cada matriz. Se considera aceptable un ratio no mayor a 0,10 para continuar con el proceso de decisión. En caso contrario deben revisarse las valoraciones antes de continuar.

En el diagrama de flujo de implementación de AHP que se muestra en FIGURA 3 puede verse cómo para asegurar resultados consistentes se revisan todas las matrices y se corrigen hasta llevarlas a niveles de consistencia aceptables antes de generar la solución final del modelo.

## 3. APLICACIONES

Desde su creación el método AHP ha sido implementado como soporte para resolver problemas de decisión de diferente tipo, nivel y alcance. AHP se ha aplicado a una amplia gama de situaciones: la selección entre alternativas competitivas en un entorno con múltiples objetivos, la asignación de recursos escasos y la generación de pronósticos (Forman & Gass, 2001).

A la vez AHP resulta simple, intuitivo, fácil de entender con un mínimo entrenamiento y suficientemente flexible para abordar diferentes problemas (Forman & Gass, 2001).

AHP es más que una metodología para situaciones de elección, debido a sus tres funciones básicas de estructuración de la complejidad, medición en escalas y síntesis (Osorio Gómez & Cabrera, 2008).



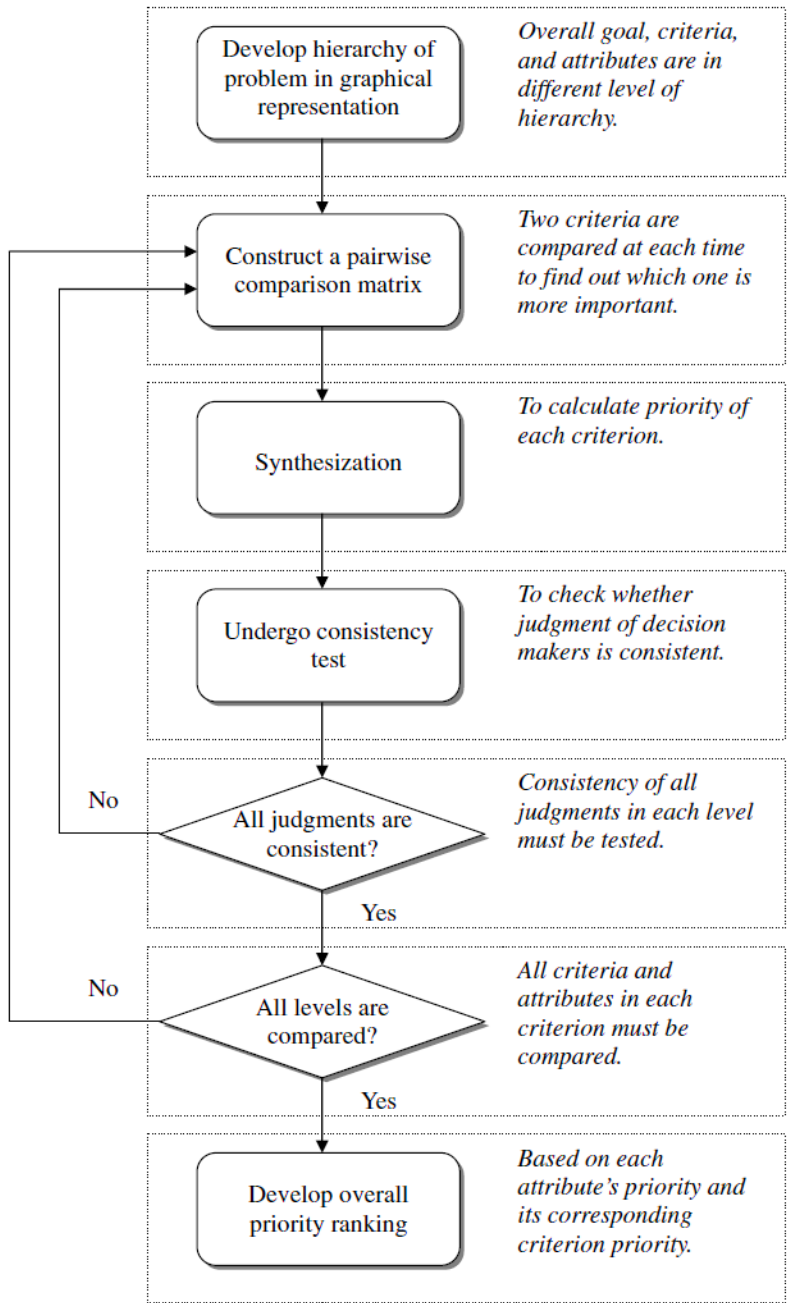


FIGURA 3. Diagrama de flujo de implementación de AHP (Ho, Dey & Higson, 2006)

Una fortaleza principal del método es su capacidad para integrar opiniones subjetivas de tomadores de decisiones. Eso lo ha hecho muy atractivo para combinar con otras metodologías desarrolladas para gestionar datos objetivos (Subramanian & Ramanathan, 2012).

Quizá la mejor forma de entender la versatilidad del método y su aplicabilidad a diferentes tipos y calibres de problemas sea a través del repaso de algunas aplicaciones en las que se usó. Existen varios trabajos publicados en los que se recopilan y describen publicaciones (Zahedi, 1986; Vaidya & Kumar, 2006; Ho, 2008; Subramanian & Ramanathan, 2012; Ho, 2018). El mismo autor e impulsores del método se encargan de difundir sus ejemplares a través de diversas publicaciones (Forman & Gass, 2001; Saaty, 2008; Saaty, 2013).

La revista científica *International Journal of the Analytic Hierarchy Process* (<https://www.ijahp.org/>) se dedica con exclusividad a la publicación de trabajos de investigación tanto en aspectos teóricos como prácticos del método AHP.

Asimismo, existen varios ejemplos de trabajos publicados y no publicados en que se utiliza el método asociado con otras técnicas como FODA, programación lineal, método Delphi y simulación entre otras. Un análisis exhaustivo reciente enfocado en 88 trabajos de entre 2007 y 2016 que incorporan AHP combinado con otras técnicas subraya la tendencia a combinar AHP con más de una técnica diferente. La combinación más frecuente es con la teoría de conjuntos difusos (Ho, 2018).

La difusión de AHP se ha visto facilitada por su incorporación en paquetes de software de toma de decisiones, entre los cuales se puede mencionar Expert Choice, creado en 1983 por los mismos autores del método. Si bien excede el objeto de esta publicación, se puede referir un trabajo en que se revisaron 28 paquetes de software de toma de decisiones, entre los que se detectó que 7 de ellos incorporaban la metodología (Amoyal, 2018).

Muchas ocasiones en las que se utiliza el método no llegan a ser expuestas o al menos documentadas a nivel de detalle porque contienen datos y juicios confidenciales. Se mencionan a continuación algunos ejemplos de aplicaciones recopiladas de las publicaciones y fuentes aludidas.

### **3.1. Problemas de selección**

Involucran básicamente la elección de una alternativa sobre otras, como en el ejemplo de compra de un vehículo que se desarrolló para explicar el método.

La selección de equipamientos tecnológicos es, por naturaleza, un proceso que contempla metas y objetivos en conflicto. Decisiones de este tipo necesitan conciliar habitualmente requerimientos técnicos, preferencias de proveedores, cuestiones financieras y apreciaciones intangibles. AHP es frecuentemente utilizado de manera efectiva en estos casos para facilitar la toma de decisiones y se pueden encontrar publicaciones muy variadas donde se detalla la implementación de AHP a problemas de este tipo.

El método es frecuentemente empleado en el campo de la medicina y el cuidado de la salud para la evaluación y selección de proyectos y tecnologías según una recopilación de 50 trabajos del rubro (Liberatore & Nydick, 2008).

Un ejemplo reciente de este tipo se puede encontrar en una publicación sobre un proceso de compra para un escáner de tomografía computarizada para un hospital, en el que se utilizó AHP para diseñar una jerarquía de 12 necesidades que se agruparon en 4 categorías homogéneas y se ponderaron mediante un cuestionario completado por 5 clínicos superiores que trabajaban en una variedad de especialidades en ese hospital (Pecchia et al., 2013).

En un trabajo presentado por Kaw & Abd Manaf, (2018) se presenta el uso la técnica Delphi y AHP para ayudar en la selección del tipo de represa hídrica adecuado para un sitio determinado. Se desarrollaron un conjunto de atributos influyentes en base a revisiones exhaustivas de la literatura, que fueron corroborados por doce expertos de campos relevantes a través de tres rondas de entrevistas. Utilizando la técnica Delphi, se determinó una jerarquía con 9 criterios importantes y 25 subcriterios.

Otro ejemplo es el caso de selección de una nueva aeronave para la Fuerza Aérea de Pakistán, donde se enfoca la decisión en un conjunto de diez criterios técnicos y económicos para resolver la incorporación entre seis aeronaves alternativas (Ali, Asghar, Muhammad & Salman, 2017).

Entre otros casos de este tipo, se ha utilizado AHP para elegir el mejor tipo de plataforma petrolífera a construir en el atlántico norte. Instalar una plataforma petrolífera cuesta aproximadamente USD 3 mil millones con un costo aún mayor de demolición (Saaty, 2008).

British Airways utilizó el AHP en 1988 para seleccionar el proveedor de sistemas de entretenimiento para toda su flota de aviones (Saaty, 2008).

NASA utilizó el método en un estudio para seleccionar un sistema de propulsión de entre 13 configuraciones diferentes para el Lunar Lander. Existen publicaciones de otras agencias espaciales donde la herramienta se utilizó para evaluar el tipo de órbita más adecuado para determinada misión espacial y diferentes alternativas para llevar adelante la misión con el menor costo y tiempo de puesta en órbita (Naseh, 2018).

Un último caso de selecciones el que se realizó en China para seleccionar tecnologías relativas a celdas solares en base a su potencial. Se utilizó AHP combinado con Delphi para procesar y obtener resultados de más de 300 cuestionarios respondidos por expertos (Tang, Sun, Yao & Wang, 2014).

### **3.2. Priorización/evaluación de desempeño**

Los problemas de priorización y evaluación buscan establecer un orden de mérito, ranking o valoración relativa de diferentes alternativas en lugar de la selección de solo una.

Se pueden encontrar frecuentemente aplicaciones de este tipo en el campo de los recursos humanos, como soporte a procesos de admisión de estudiantes y para la recomendación y promociones de personal militar.

Generalmente se estructura el problema como un conjunto de características y sub características deseables de un individuo a contratar, se comparan y ponderan dichas características y luego se analizan las diferentes alternativas entre sí o a través de una medición absoluta. Esto es útil en casos en que los candidatos son muy numerosos o el proceso de selección debe repetirse sin que exista un cambio en la estructura del problema.

Un campo de aplicación muy popular para la utilización de AHP a este tipo de problemas es el de la construcción. En un relevamiento de 77 publicaciones en las que se aplica AHP entre 2004 y 2017 se indica que existen muchos problemas del sector que pueden ser abordados por AHP, particularmente los relacionados con gestión de riesgos y sustentabilidad (Darko et al., 2018).

Se aplicó exitosamente AHP en el ámbito deportivo. Un trabajo publicado en 2016 por Nisel & Özdemir presenta un repaso sobre 62 artículos en los que se aplica AHP y ANP a problemas del ámbito de los deportes. Los hallazgos muestran que las técnicas de AHP y ANP se han utilizado con éxito para la evaluación del desempeño de los equipos, la selección y clasificación de los jugadores, la clasificación del desempeño del equipo o club y la evaluación del entrenador en muchas ramas deportivas.

En el trabajo publicado por Ozceylan (2016) se presenta un proceso de selección para jugadores del equipo de fútbol turco Fenerbahçe Spor Kulübü basado en AHP y en segunda instancia un modelo de programación lineal que toma los resultados obtenidos para proponer un equipo ideal ajustado a varias restricciones.

En el artículo publicado por Özdemir & Sağır Özdemir (2018), se detalla el uso de AHP en la determinación y estandarización de criterios para el proceso de selección de personal para control de tráfico aéreo.

En el marco de los problemas de priorización, se ha aplicado AHP para diseñar y generar indicadores y tableros de control alineando y priorizando diferentes indicadores claves de performance (KPIs), indicadores claves de riesgo (KRIs) y factores críticos de éxito (CSFs) de la organización (Vachnadze, 2016).

En Universidad de Santiago de Chile se utilizó el método para ponderar propuestas de investigación a candidatear para financiamiento público compitiendo con las propuestas de otras universidades (Forman, 2001).

Saaty (2013) resalta el uso de AHP para definir la contratación de jugadores en el equipo Green Bay Packers que ganó el Super Bowl en 2011 y en la predicción de resultados de encuentros, tanto como en el diseño de políticas de retención y adquisición de jugadores en equipos de diferentes disciplinas.

### 3.2.1 Una experiencia personal: desarrollo de un índice común de ejecución para la fuerza de ventas

Resulta relevante aludir en el apartado problemas de priorización y evaluación de desempeño una experiencia personal con la aplicación de AHP. El trabajo que se menciona a continuación no se encuentra publicado por

cuanto se desarrolló en el ámbito privado y sus resultados se encuentran resguardados por un acuerdo de confidencialidad.

La aplicación de AHP en cuestión fue el diseño de un indicador ponderado para la medición de performance de fuerza de ventas en un embotellador (franquicia que produce, comercializa y distribuye las bebidas del sistema Coca-Cola en Argentina).

El fin del indicador era poder medir el desempeño de la fuerza de ventas en cuanto a “ejecución de mercado” a través de un único indicador que reflejara una mezcla de un conjunto de variables relevadas en clientes de la compañía mediante observación.

La “ejecución de mercado” comprende variables relevadas directamente en una muestra de comercios minoristas con representatividad estadística a nivel de vendedores todos los meses del año. Esas variables son medidas en forma observacional con un software específico por terceros contratados a tal fin. Ejemplos de variables de ejecución de mercado son “participación relativa de las marcas propias en el inventario exhibido”, “respeto del precio de venta al público sugerido”, “colocación de materiales promocionales”, “disponibilidad física de productos clave” o “primera posición de equipo de frío”, entre otras.

Si bien cada variable aborda un aspecto diferente de la ejecución en el punto de venta, se vio la oportunidad de sintetizar un único indicador común que sirviera como valoración del nivel de ejecución agregado en el cliente -y de la gestión del vendedor-, pero que a la vez fuera posible de calcular para una ruta de venta (conjunto de clientes), para una supervisión (conjunto de rutas), para una gerencia (conjunto de supervisiones) y eventualmente para el embotellador en su conjunto.



**FIGURA 4.** Proceso de medición y síntesis de un índice de ejecución con AHP, elaboración propia.

En la FIGURA 4 se puede ver a través de un esquema cómo a partir de un sistema de medición sistemática de mercado ya establecido que arroja variables predefinidas se incorpora AHP para ponderar las variables y sintetizar un índice único.

Para estructurar el modelo se seleccionaron las variables relevantes, se estructuraron y fueron comparadas en relación a su importancia por el director y los gerentes comerciales regionales de la empresa. Esto se hizo a

partir de entrevistas personales y por email a través de un cuadro similar al mostrado en FIGURA 5, en el que cada responsable comparó y asignó una preferencia relativa a todas las variables incluidas.

	Más importante		Indiferente		Más importante		
1a Pos EDF						x	Surtido Tarj
1a Pos EDF				x			Cumpl Px
1a Pos EDF			x				Sov% NRTD
1a Pos EDF			x				Contam EDF
1a Pos EDF				x			ROES NBs
Surtido Tarj							Cumpl Px
Surtido Tarj		x					Sov% NRTD
Surtido Tarj			x				Contam EDF
Surtido Tarj		x					ROES NBs
Cumpl Px			x				Sov% NRTD
Cumpl Px				x			Contam EDF
Cumpl Px					x		ROES NBs
Sov% NRTD				x			Contam EDF
Sov% NRTD						x	ROES NBs
Contam EDF	x						ROES NBs

FIGURA 5. Matriz de comparación de criterios para un índice de ejecución, elaboración propia.

Luego todas las entrevistas se consolidaron y procesaron mediante el software Expert Choice (2019) para obtener el peso relativo de cada una de esas variables que permitiera obtener un indicador ponderado de ejecución.

A partir de las ponderaciones obtenidas se pudo sintetizar el indicador único de ejecución, que fue ampliamente usado en el embotellador para medir performance de su fuerza de ventas, detectar oportunidades de capacitación o inversión, pagar remuneraciones variables y organizar concursos para la fuerza de ventas, entre otras aplicaciones. Algunos años más tarde, la misma metodología con algunas variaciones fue adoptada por la casa matriz del sistema Coca-Cola para medir la performance y diseñar concursos comerciales, ya no entre vendedores sino, entre diferentes embotelladores a escala de región Sudamérica total.

### 3.3. Selección de localización

Los problemas de selección de localización son un tipo particular de problemas de selección en los que se combina AHP con sistemas de información geográficos (GIS) para definir el lugar más adecuado para una actividad o proyecto.

El caso de selección del sitio para granjas solares, parques eólicos y proyectos de generación de energías renovables es un tema crítico en el que deben tenerse en cuenta factores como la calidad del terreno, los factores locales de la intemperie, la proximidad a las líneas de alta capacidad de transmisión, las instalaciones agrícolas y el potencial impacto ambiental y social. Existen estudios de este tipo de varios países en los que se combina AHP con GIS para evaluar y clasificar varios sitios de acuerdo a intervalos de factibilidad. Se proponen como ejemplos los trabajos publicados para la región de Murcia en España (Sánchez-Lozano, Teruel-Solano, Soto-Elvira & García-

Cascales, 2013), la región de Karapınar en Turquía (Uyan, 2013) y Aachen en Alemania (Höfer, Sunak, Siddique & Madlener, 2016).

Casos similares en los que se contemplan criterios relativos a eficiencia, costos, distancias, seguridad, impacto ambiental y cercanía a mercados o centros de interés pueden ser los estudios para localizar depósitos para acopio de productos agrícolas (García et al., 2014), así como el análisis de localización de grandes locales comerciales como supermercados (Roig-Tierno, Baviera-Puig, Buitrago-Vera & Mas-Verdu, 2013).

En el ámbito de la administración pública problemas como la selección de un sitio para localizar un relleno sanitario municipal deben considerar criterios sociales, ambientales y técnicos. Existen varias publicaciones en las que se explica el uso de AHP para abordar este tema en diferentes partes del planeta incluyendo el caso de Polog en Macedonia (Gorsevski, Donevska, Mitrovski & Frizado 2012) y Mahshahen Iran (Alavi, Goudarzi, Babaei, Jaafarzadeh & Hosseinzadeh 2013). En una misma categoría de problema, en 2001 se utilizó para determinar el mejor sitio para reubicar la ciudad turca devastada por el terremoto de Adapazari (Saaty, 2013).

En un último conjunto de aplicaciones de AHP a problemas de localización pueden mencionarse varios ejemplos de generación de modelos para predecir zonas de inundación, ponderar su magnitud y gestionar cuencas hídricas. Existen ejemplos de diferentes partes del mundo incluyendo la península de Kassandra en Grecia (Stefanidis & Stathis, 2013), la municipalidad de Eldoret en Kenya (Ouma & Tateishi 2014) y la ciudad de Tucumán en Argentina (Fernández & Lutz 2010).

### 3.4. Alocación de recursos

Los problemas de alocación de recursos son aquellos en los que se parte de un presupuesto limitado que debe ser asignado proporcionalmente entre diferentes alternativas no excluyentes.

Xerox Corporation en la década de 1980 usó el AHP para distribuir cerca de mil millones de dólares entre proyectos de investigación. Se utilizó también para tomar decisiones de *marketing* relacionadas con segmentación de mercado (Saaty, 2013).

La Fuerza Aérea de los Estados Unidos utilizó el AHP para distribuir presupuesto entre sus proyectos (Forman, 2001).

IBM usó AHP en el diseño de producto y *marketing* para su exitosa computadora AS 400 computer en 1991 (Saaty, 2008).

La Ford Motor Company utilizó el AHP en 1999 para priorizar criterios que mejoren la satisfacción del cliente (Saaty, 2013).

### 3.5. Planeamiento estratégico

AHP ha sido utilizado en el análisis de varias propuestas con alcance estratégico para nivel país regional.

La primera aplicación del AHP en la década de los 70 (antes de su publicación) fue un proyecto de un año para priorizar 103 alternativas de transporte en Sudán. Los fondos fueron proporcionados por el Fondo de

Kuwait, y los resultados examinados y utilizados por Robert McNamara y el Banco Mundial para evaluar proyectos de construcción (Saaty, 2013).

El AHP fue utilizado para analizar el Conflicto en Sudáfrica en época del apartheid. Surgieron 18 recomendaciones, una de las principales recomendaciones fue liberar a Nelson Mandela, eliminar el apartheid y conceder la plena ciudadanía e igualdad de derechos a la mayoría negra, recomendaciones que fueron implementadas (Saaty, 2013).

Un análisis de AHP con tres jerarquías para beneficios, costos y riesgos mostró que era mucho mejor para Estados Unidos no sancionar a China en las negociaciones por derechos de propiedad intelectual de 1995. Estados Unidos de hecho otorgó a China el status de socio comercial estratégico (Saaty, 2013).

Se aplicó AHP en agosto de 2011 al conflicto israelí-palestino (Islam, 2017), involucrando cinco personas prominentes de cada lado, para llegar a un acuerdo llamado Principios de Pittsburgh.

En un ensayo académico, se utilizó AHP combinado con la matriz FODA para analizar la conveniencia o no del Reino Unido de dejar la Unión Económica Europea (Saaty & Wei, 2016).

### 3.6. Pronósticos

AHP fue utilizado en varias ocasiones y en diferentes disciplinas para la elaboración de pronósticos. El método se adapta fácilmente a estos casos reemplazando la magnitud de preferencia con que se ponderan los criterios y alternativas por la probabilidad de que se den diferentes escenarios.

Se mencionan en la bibliografía tres estudios que fueron increíblemente precisos para predecir las fechas de cambio de la economía de los Estados Unidos y la fortaleza de la recuperación en 1991, 2001, y 2009 (Saaty, 2013).

## 4. DISCUSIÓN Y REFLEXIONES FINALES

La toma de decisiones es una función ineludible en la gestión de cualquier tipo de organización independientemente de su objetivo, alcance y tamaño. Estas decisiones en general son definidas y resueltas por un rol (ejecutivo, gerente, dueño, presidente) que en la mayoría de los casos apela a su intuición, moldeada por su propia experiencia y experticia en la materia, a consultas personales y a fuentes de información secundaria, para asimilar el problema y elegir la mejor forma de resolverlo.

En muchas ocasiones la baja importancia relativa de la decisión, el tiempo disponible y los costos de procesamiento de una solución hacen de ese precisamente el método más adecuado para resolver el problema.

Sin embargo, una decisión puede volverse rápidamente trascendente por varios factores que tienen que ver con su complejidad, el alcance de la decisión, el potencial impacto en la organización o su entorno y la necesidad de consensuar diferentes enfoques y políticas, entre otras razones. En esos casos se hace necesario el apoyo de un método para decidir.

La teoría de decisiones ha proporcionado marcos adecuados para entender los procesos de decisión desde una perspectiva teórica y metodológica. Existen múltiples enfoques incluyendo los cuantitativos como la



investigación operativa hasta las neurociencias, el estudio de las emociones y la heurística.

Dentro de los métodos cuantitativos para resolver problemas de decisión multicriterio se destaca el método AHP que ha sido abordado en este trabajo.

Desde su inyección han surgido varios cuestionamientos al método en el ámbito académico. El más fuerte de ellos es el fenómeno de cambio de rangos o *Rank reversal* que consiste en la posibilidad de que cambien el orden de las alternativas consideradas al añadir una nueva alternativa (Dyer, 1990). Esto ha generado discusiones entre detractores e impulsores del método. Aún hoy existen autores que indican que el cambio de rangos es un defecto del método mientras que otros dicen que es un resultado esperable (Ishizaka & Labib, 2009). El problema de cambio de rangos desaparece cuando se utiliza el método de medición absoluta para las alternativas.

Otro aspecto controvertido del método es la escala propuesta para comparar criterios y alternativas. AHP utiliza una escala semántica que indica un nivel de preferencia entre dos alternativas y que luego convierte a una escala numérica de enteros entre 1 y 9. Se puede ver en el trabajo de Ishizaka & Labib (2009) un resumen de la discusión en torno a este tema y una descripción de varias escalas alternativas.

A pesar de estas y otras críticas recibidas por el método en el ámbito académico, AHP ha sido ampliamente adoptado para abordar problemas reales de lo cual da cuenta la cantidad de publicaciones que refieren al método. En palabras de Ishizaka & Labib (2009) “Los problemas que necesitan el apoyo de métodos de decisión son por definición difíciles de resolver y por ello complejos de modelar. Un compromiso entre modelado perfecto y usabilidad debe ser alcanzado y es nuestra creencia que AHP ha alcanzado ese compromiso.” (p.214). AHP tiene en ese sentido varias fortalezas que son las que le han dado popularidad. Son las principales de ellas:

- AHP es versátil: Es posible encontrar numerosas publicaciones (de las cuales solo se mencionan unas pocas en este trabajo) que refieren a la aplicación del método para abordar problemas de diferentes industrias, tipo y alcance. AHP se integra además fácilmente con otros métodos lo que permite generar soluciones escalables y específicas para problemas en los cuales el método puro es insuficiente.
- AHP permite estructurar la complejidad y generar modelos robustos pero que a la vez son accesibles y fáciles de interpretar. Esto favorece su adopción y aceptación por parte de gerentes y decisores no familiarizados con los métodos cuantitativos.
- AHP tiene utilidad verificada empíricamente. En los casos analizados en que se aplicó la herramienta a problemas reales los resultados son considerados satisfactorios y aceptados. Incluso en casos en que se utilizó AHP como herramienta predictiva demostró ser un método de pronósticos fiable.
- AHP se encuentra integrado en varios paquetes de software que permiten modelar problemas de decisión en forma rápida y ágil, visualizar resultados

mediante gráficas y realizar análisis de sensibilidad. Existen también plantillas disponibles públicamente para implementar el método en planillas de cálculo.

En un contexto en que las organizaciones necesitan operar con efectividad y eficiencia para mantener su competitividad es fundamental que las decisiones trascendentes maximicen una función de utilidad compleja en la que influyen varios aspectos técnicos, normativos e intangibles para los cuales no existen estándares de medición. Muchas decisiones requieren además consenso para asegurar adhesión y eso se obtiene asegurando la participación en el proceso de todos los interesados o *stakeholders*.

El método AHP permite, como se ha demostrado en este trabajo, asistir en la estructuración de un problema, suministra un método útil e intuitivo para la ponderación de criterios y alternativas y sintetiza un resultado único para el modelo generado. Por todas estas razones puede dar un respaldo analítico sólido a las necesidades de toma de decisiones en organizaciones de todo tipo.

## 5. REFERENCIAS

- Alavi N., Goudarzi G., Babaei A., Jaafarzadeh N., & Hosseinzadeh M. (2013). Municipal solid waste land fill site selection with geographic information systems and analytical hierarchy process: a case study in Mahshahr County, Iran. *Waste Management & Research*, 31(1), 98–105.
- Ali, Y., Asghar, A., Muhammad, N., & Salman, A. (2017). Selection of a fighter aircraft to improve the effectiveness of air combat in the war on terror: Pakistan Air Force – A case in point. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 9(2).
- Amoyal, J. (2018). Decision analysis software survey. *Operations Research and the Management Sciences Today* 45(5).
- Berumen, S.A. & Llamazares Redondo, F. (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. *Cuadernos de Administración*, 20 (34): 65-87.
- Darko A., Ping Chuen Chan A., Effah Ameyaw E., Kingsford Owusu E., Pärn, E. & John Edwards, D. (2018). Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction. *International Journal of Construction Management*. 19(5) 436-452.
- Dyer, J. (1990). Remarks on the analytic hierarchy process. *Management Science* 36 (3) 249-258.
- Expert Choice (2019) Expert Choice. <http://www.expertchoice.com>.
- Fernández D. & Lutz M. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology* Vol. 111 1–4, 90-98.
- Forman, E.H. & Gass, S.I. (2001). The analytic hierarchy process – An exposition. *Operations Research* 49(4):469-486.
- García J., Alvarado A., Blanco J., Jiménez E., Maldonado A. & Cortés G. (2014). Multi-attribute evaluation and selection of sites for agricultural product warehouses based on an Analytic Hierarchy Process. *Computers and Electronics in Agriculture* Vol. 100, 60-69.

- Gorsevski P., Donevska K., Mitrovski C. & Frizado J. (2012). Integrating multi-criteria evaluation techniques with geographic information systems for landfill site selection: A case study using ordered weighted average. *Waste Management* Vol. 32-2 287-296.
- Ho, W., Dey, P.K. & Higson, H.E. (2006). Multiple criteria decision making techniques in higher education. *International Journal of Educational Management* 20 (5), 319–337.
- Ho, W. (2008). Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review. *European Journal of Operational Research*. 186(1) 211-228.
- Ho, W. & Ma, X. (2018). The state-of-the-art integrations and applications of the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, Vol. 267, 2, 399-414.
- Höfer T., Sunak Y., Siddique H. & Madlener R. (2016). Wind farm siting using a spatial Analytic Hierarchy Process approach: A case study of the Städteregion Aachen. *Applied Energy* Vol. 163 222-243.
- Ishizaka, A. & Labib, A. (2009). Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and limitations. *OR Insight* Vol. 22, 4, 201–220.
- Islam, R. (2017). Work on Israeli-Palestinian conflict. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 9(3).
- Kaw, K., & Abd Manaf, L. (2018). Integration of Delphi technique and analytical hierarchy process in selecting the type of dam: A case study of Bungoh catchment in Sarawak, Malaysia. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(1).
- Liberatore M. & Nydick R. (2008). The analytic hierarchy process in medical and health care decision making: A literature review. *European Journal of Operational Research* 189(1):194–207.
- Naseh, H. (2018). Space mission definition based on analytical hierarchy process (AHP) method. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(2).
- Nisel, S., & Özdemir, M. (2016). Analytic hierarchy process & analytic network process in sports: a comprehensive literature review. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 8(3).
- Osorio Gómez, J.C. & Orejuela Cabrera, J.P. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica* Año XIV, No 39.
- Ouma Y. & Tateishi R. (2014). Urban Flood Vulnerability and Risk Mapping Using Integrated Multi-Parametric AHP and GIS: Methodological Overview and Case Study Assessment. *Water* 2014, 6, 1515-1545.
- Ozceylan, E. (2016). A mathematical model using AHP priorities for soccer player selection: A case study. *South African Journal of Industrial Engineering* 27(2), 190-205.
- Özdemir, M., & Sağır Özdemir, M. (2018). The use of the analytic hierarchy process for admission to an air traffic control department. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 10(1).

- Pecchia L., Martin J.L., Ragozzino A., Vanzanella C., Scognamiglio A., Mirarchi L. & Morgan SP. (2013). User needs elicitation via AHP. A case study on a CT scanner. *BMC Med Inform Decis Mak.* 5, 13:2.
- Roig-Tierno N., Baviera-Puig A., Buitrago-Vera J. & Mas-Verdu F. (2013). The retail site location decision process using GIS and the analytical hierarchy process. *Applied Geography* Vol. 40, 191-198.
- Saaty, T.(1980). *Multicriteria decision Making: The analytic hierarchy process.* New York, McGraw Hill.
- Saaty, T.(1990). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research* 48, 9-26.
- Saaty, T. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 2008.
- Saaty, T. (2013). The modern science of multicriteria decision making and its practical applications: The AHP/ANP approach. *Operations Research* 61(5):1101-1118)
- Saaty, T., & Wei, L. (2016). Should the UK have brexited the European Union? *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 8(2).
- Sánchez-Lozano J.M., Teruel-Solano J., Soto-Elvira P. & García-Cascales M.S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Vol. 24: 544-556.
- Smith, J. & von Winterfeldt, D. (2004). Anniversary Article: Decision Analysis in Management Science. *Management Science*, 50, issue 5, p. 561-574.
- Stefanidis S. & Stathis D. (2013). Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Natural Hazards* 68: 569.
- Subramanian, N., & Ramanathan, R. (2012). A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215–241.
- Tang Y., Sun H., Yao Q. & Wang Y. (2014). The selection of key technologies by the silicon photovoltaic industry based on the Delphi method and AHP (analytic hierarchy process): Case study of China. *Energy* Vol. 75, 474-482.
- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 28, 11–17.
- Vachnadze, R. (2016). Prioritization of performance measures using analytic hierarchy process. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process.*
- Vaidya, O.S. & Kumar, S. (2006). Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of Operational Research*, 169, 1-29.
- von Winterfeldt, D. (1980). Structuring Decision Problems for Decision Analysis. *Published Articles & Papers.* Paper 35.
- Zahedi, F. (1986). The analytic hierarchy process – A survey of the method and its applications. *Interfaces* 16(4) 96-108.