

Análisis combinatorio para Toma de Decisiones Mediante Modelos de Jerarquización Analítica de Alternativas

Fecha de recepción: 29-05-2015

Fecha de aceptación: 18-06-2015

Lizbeth Martínez Ramírez¹
Jaime Muñoz F.²

RESUMEN

Entre los recursos teóricos y metodológicos más avanzados y de mayor potencial para fundamentar análisis cualitativos, se encuentra el denominado *Proceso de Jerarquización Analítica (PJA)*. Mediante la estructuración de un adecuado modelo PJA, las organizaciones pueden estudiarse con sustento analítico cualitativo para determinar con formalidad matemática, las alternativas que mejor cumplen con criterios preestablecidos para alcanzar un objetivo. Este trabajo presenta resultados basados en un modelo PJA que aporta evidencia de juicios evaluativos de directores de Incubadoras Empresariales de Universidades, en torno a una parametrización cualitativa de requisitos esperados de políticas públicas de fomento a la creación de empresas.

Palabras clave: Análisis cualitativo, Proceso de Jerarquización Analítica.

¹Mtra. en Ciencias. Especialista en el área de investigación. Matemáticas aplicadas a la administración y economía. Correo electrónico: martinez71lizbeth@gmail.com

²Dr. en Ciencias Económicas. Especialista en el área de investigación Matemáticas aplicadas a la administración y economía. Correo electrónico: jaimemunozflores@gmail.com

ABSTRACT

Among the most powerful theoretical resources out there to support qualitative analysis, stands the so-called Analytical Hierarchy Process (AHP). By structuring an appropriate AHP model, firms can dispose of qualitative analytical foundations to determine, with mathematical formality, the alternatives that best fit the criteria to achieve multiple business objectives. Based on an AHP model, this paper provides evidence of evaluative judgments of Directors of University Business Incubators through qualitative parameters of expected public policies requirements to fostering start-ups.

Key words: Qualitative Analysis, Analytic Hierarchy Process.

1. Introducción

En el ámbito organizacional, los procesos de toma de decisiones contemplan casi siempre la búsqueda de objetivos múltiples. Una necesidad adicional consiste en que dichos objetivos deben cumplirse en el mayor grado posible simultáneamente. Por su parte, los criterios que debe cumplir toda alternativa de solución también suelen ser múltiples. Es por ello indispensable contar con medios para formular modelos matemáticos capaces de establecer analíticamente una jerarquización de la amplia variedad de combinaciones cualitativas y cuantitativas factibles entre objetivos a alcanzar, criterios por cumplir y alternativas de solución por elegir.

Con tal finalidad, en esta investigación se establece un modelo basado en la teoría de Procesos de Jerarquización Analítica (PJA). En las siguientes secciones se presenta el marco teórico y detalles de la metodología para PJA de Chang (Chang, 1996); las aportaciones que surgen del modelo aplicado en sujetos tomadores de decisiones en un contexto de objetivos, criterios y alternativas múltiples para fomentar la creación de nuevas empresas; finalmente las conclusiones.

2. Marco Teórico

El análisis combinatorio del entorno organizacional favorece la toma de decisiones empresariales caracterizadas recientemente por el aumento en el uso de sistemas que consideran el aprovechamiento de los recursos disponibles buscando alcanzar esquemas de optimización. Lo anterior puede ser modelado a través de representaciones formales que clarifican las relaciones entre necesidades, recursos disponibles y objetivos establecidos. Considerando que las empresas requieren parámetros e indicadores de desempeño, ciertos campos de las matemáticas juegan un papel fundamental al auxiliar, mediante recursos diversos, el ordenamiento de la diversidad de elementos que se requiere conjuntar en los procesos de toma de decisiones a fin de garantizar integridad y transparencia.

La aplicación de sistemas analíticos para la toma de decisiones es ampliamente utilizada por empresas y consorcios, pues provee señales para anticipar soluciones a problemas que amenazan su supervivencia en el mercado. Puede decirse que, de manera general, los modelos de mayor aplicación comprenden una combinación de aspectos tanto de naturaleza normativa como prospectiva. Las representaciones lógicas y simbólicas entre los elementos de un sistema de decisiones, utilizan recursos semánticos que describan las relaciones cualitativas y cuantitativas de manera integral. En consecuencia, la modelación matemática como recurso de comprensión y comunicación, ha merecido creciente atención en las comunidades gerenciales y de negocios; entre las herramientas matemáticas que permiten dichas relaciones se tiene el PJA, mismo que se detalla a continuación:

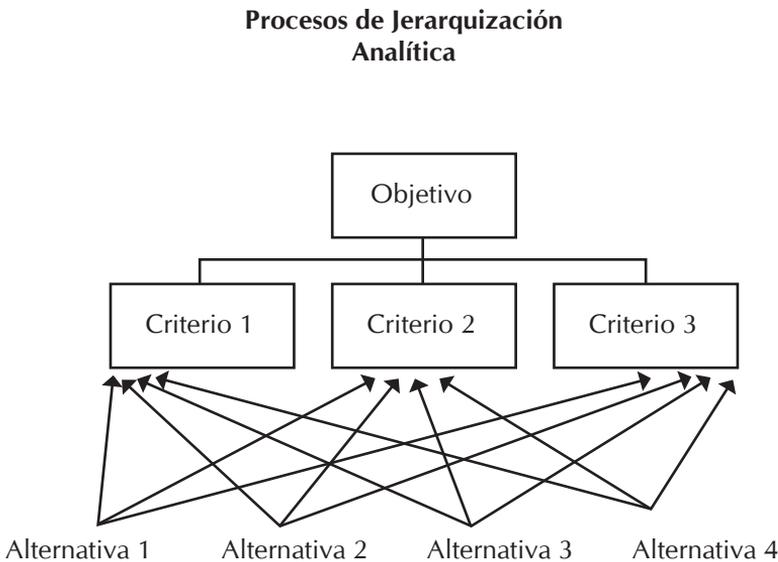
2.1 Proceso de Jerarquización Analítica (PJA)

La jerarquización analítica surge a principios de los años ochenta como un recurso metodológico que permite combinar información de carácter cualitativo, con criterios de evaluación cuantitativa. Para construir una decisión, los PJA se basan en la definición de criterios múltiples, así como en la identificación y ponderación de alternativas que cumplan con dichos criterios. Dada su capacidad para combinar objetivos, criterios y alternativas múltiples, la teoría de procesos de jerarquización analítica es ampliamente aplicable para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre.

En los Procesos de Jerarquización Analítica los juicios subjetivos basados en la experiencia del tomador de decisiones, se combinan con la información cualitativa y cuantitativa disponible. Tal combinación genera como resultado la determinación de una priorización fundamentada y consistente para las alternativas existentes.

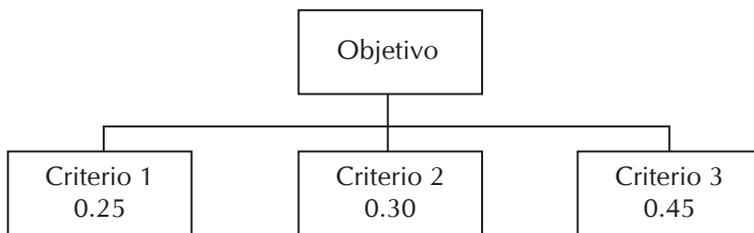
166

Figura 1
Representación esquemática de un objetivo con criterios y alternativas múltiples



Como principio metodológico de PJA, la información disponible (cualitativa y cuantitativa) referente a los criterios, se combina con juicios valorativos basados en el conocimiento y experiencia del tomador de decisiones. A partir de dicha combinación se determina la relevancia que reviste cada uno de los criterios en términos relativos.

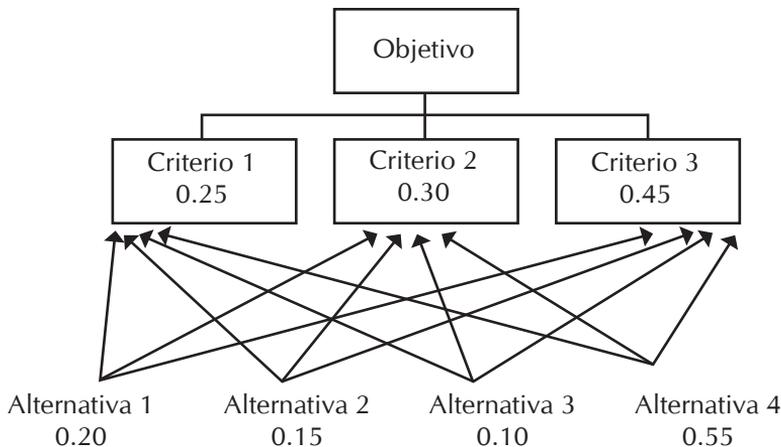
Figura 2
Relevancia relativa de los criterios del modelo



De manera análoga, en la metodología de PJA se comparan por pares las alternativas existentes, tomando en cuenta el grado de cumplimiento que cada una tiene respecto de cada uno de los criterios. En esta fase del proceso, se toma en consideración las series de datos transversales y longitudinales que pudieren existir así como toda aquella información cualitativa disponible que pudiera ser aprovechada para el establecimiento de juicios valorativos.

167

Figura 3
Grafo de relevancias relativas para un esquema multicriterios y multialternativas



Como corolario del proceso, mediante operaciones cerradas de álgebra matricial se lleva a cabo el cálculo vectorial correspondiente a la jerarquización de alternativas, que resulta de la combinación integral de relevancias relativas a cada uno de los criterios.

Matriz de Comparación por pares

	Criteria 1	Criteria 2	Criteria 3
Criteria 1	1	1	0.3
Criteria 2	1	1	1
Criteria 3	3	1	1

Fuente: Elaboración propia

168

El PJA calcula a través de álgebra matricial el vector correspondiente de las alternativas dadas con la combinación integral de la importancia relativa asociada a cada criterio, obteniendo la prioridad global para el logro de los objetivos establecidos, cuya notación es:

A un objetivo dado i , $i = 1, 2, \dots, m$; se resuelve el peso de W_i

A cada objetivo i , se compara el $j = 1, 2, \dots, n$ alternativas y se resuelve el W_{ij} respecto al objetivo i

Se determina la ponderación final de W_j respecto al objetivo, de manera tal que $W_j = w_{1j}w_1 + w_{2j}w_2 + \dots + w_{mj}w_m$

Las ponderaciones de las alternativas se ordenan en forma descendente acordes a W_j , y el valor más alto indica que esa es la alternativa prioritaria para lograr el objetivo dado y que cumple en mayor grado con los criterios establecidos.

La teoría de Procesos de Jerarquización Analítica ha merecido creciente atención como tema de investigación (tanto básica como aplicada), particularmente en lo que va del presente siglo. Lo anterior obedece en buena medida al desarrollo de aplicaciones computacionales que permiten llevar a cabo procesos operativos de álgebra matricial y de vectores, que permiten la simulación de escenarios, el análisis combinatorio así como la aplicación de métodos numéricos sofisticados para análisis de sensibilidad.

Cuadro 1

Las aplicaciones de PJA han estado cada día más presentes como tema en las publicaciones científicas de mayor reconocimiento en los índices mundiales

Metodología de Jerarquización Analítica como
Tema de Investigación Interdisciplinaria

Campo de Conocimiento	Publicaciones
Economía	609
Administración	1,519
Finanzas y negocios	253
Planeación y desarrollo organizacional	148
Psicología	326
Neurociencias	660
Investigación de operaciones	1,859
Ciencias ambientales	590
Matemáticas aplicadas a ciencias sociales	121
Otros campos del conocimiento	15,155

169

Fuente: Thomson-Reuters.

2.2 Metodología de aplicación de PJA

Los principios teóricos que sustentan la metodología de PJA, fueron desarrollados hacia las últimas décadas del siglo XX. Fundamentalmente, se parte de las ramas de las matemáticas que tienen mayor relación con el análisis vectorial y álgebra matricial.

En los modelos PJA se conforman matrices de juicios, para obtener los valores cuantitativos de los criterios y alternativas del modelo, los evaluadores seleccionan el nivel de importancia de cada criterio respecto a otro, así como la importancia relativa de las alternativas en referencia a cada criterio de acuerdo a la escala de Saaty (1980).

Escala de Saaty

Intensidad	Nivel de importancia	Interpretación
1	Igual	Dos actividades contribuyen de igual manera al objetivo
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorece moderadamente una actividad respecto a otra
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorece fuertemente una actividad respecto a otra
7	Muy fuerte	La experiencia y el juicio favorece mucho más fuerte una actividad respecto a otra
9	Extrema	La evidencia de preferir una actividad respecto a otra es absoluta y totalmente clara
2,4,6,8	Valores intermedios	Valores adyacentes
Recíproco	$a_{ij} = 1/a_{ji}$	Hipótesis del método

170

Fuente: Elaboración propia en base a Saaty, (1980).

Como ejemplo se tiene la selección del nivel de importancia del criterio “Financiable” respecto al criterio “Operacional”, suponiendo que el evaluador asigna un valor de “5” al criterio de la izquierda respecto a su homólogo:

Comparación de criterios	
Alternativa ↓ vs.	←=====→ = ←=====→ Alternativa ↓
Financiable	9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Operacional

Fuente: Elaboración propia

En cuyo caso se interpreta que el criterio “Financiable” es fuertemente más importante que el criterio “Operacional” para el evaluador y al conformar la matriz de juicios la intersección del criterio “financiable” respecto al criterio “operacional”, tendrá un valor de 5, obsérvese la siguiente matriz de juicios:

	Financiable	Operacional	Resilente
Financiable	1	5	4
Operacional	0.20	1	2
Resilente	0.25	0.50	1

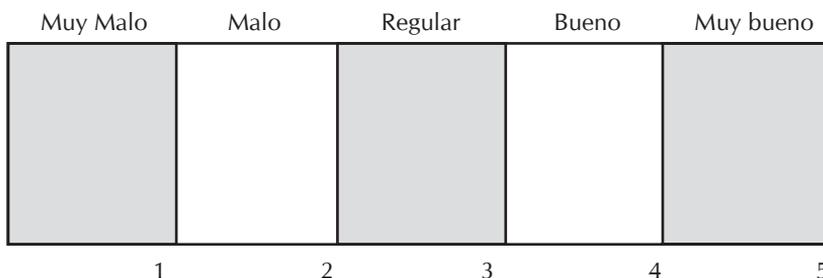
A fin de representar el grado de importancia que tiene un criterio de selección frente a los demás, la metodología PJA se apoya en la formación de una matriz de juicios. En esta matriz, se registran coeficientes numéricos que indican cuál de los criterios es más importante frente a los demás.

En el proceso de comparación anterior, fueron utilizados números enteros para indicar la importancia de cada criterio frente a los demás. Las escalas basadas en números enteros determinan categorías estrictamente definidas. Sin embargo, los juicios comparativos realizados por individuos no suelen ser estrictamente categóricos. La presencia de percepciones subjetivas individuales, hace necesaria la consideración de una métrica de referencia no estrictamente categórica.

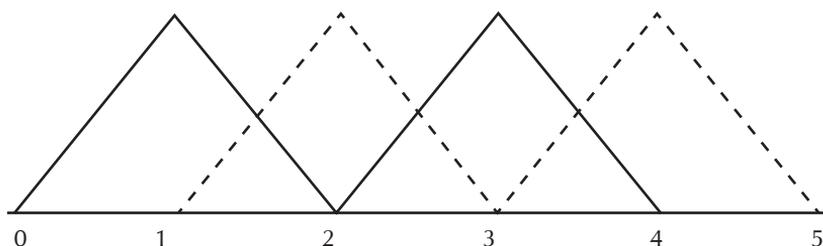
En la siguiente figura, comparamos una métrica de referencia estrictamente categórica con otra que no lo es, a la que denominamos métrica difusa. Podrá observarse que en el primer caso, cada categoría está limitada por un número entero.

171

Escala Categórica Estricta



Escala Difusa

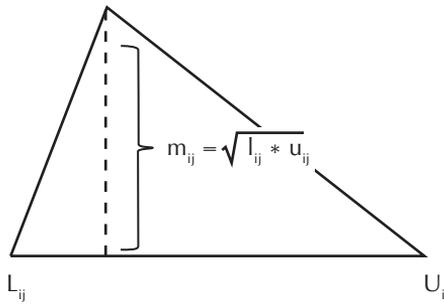


Por el contrario, en la escala difusa pueden observarse traslapes. Ello permite que la pertenencia a una categoría no sea estricta, e incluso la posibilidad de pertenecer a dos categorías simultáneamente. A los triángulos que se forman al unir los vértices, se les conoce como números reales triangulares difusos, y se representan, por ejemplo, como $(0, 1, 2)$ ó $(3, 4, 5)$.

En términos muy generales, considérese que \tilde{A} representa una matriz de juicios de $n \times n$ que contiene reales de tipo triangular difuso a_{ij} para toda $i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ como se muestra en la siguiente matriz.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} (1,1,1) & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & (1,1,1) & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & (1,1,1) & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

Donde $a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ con l_{ij} como valor inferior, u_{ij} es el límite superior y m_{ij} es el promedio geométrico de l_{ij} y u_{ij} , es decir:



Asumiendo que M_1 y M_2 son 2 números triangulares difusos (NTD) con $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ y $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$. Las operaciones básicas son:

$$M_1 + M_2 = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2)$$

$$M_1 \times M_2 = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2)$$

$$M_1^{-1} = \left(\frac{1}{u_1}, \frac{1}{m_1}, \frac{1}{l_1} \right)$$

Ahora bien, para determinar el vector W de jerarquización, se procede de la siguiente manera (Chang, 1996):

(1) Sumando cada fila de la matriz de juicios difusos A , se obtiene el vector de reales difusos RS .

$$RS = \begin{bmatrix} rs1 \\ rs2 \\ \vdots \\ rsn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n a_{1j} \\ \sum_{j=1}^n a_{2j} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n a_{nj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\sum_{j=1}^n l_{1j}, \sum_{j=1}^n m_{1j}, \sum_{j=1}^n u_{1j}) \\ (\sum_{j=1}^n l_{2j}, \sum_{j=1}^n m_{2j}, \sum_{j=1}^n u_{2j}) \\ \vdots \\ (\sum_{j=1}^n l_{nj}, \sum_{j=1}^n m_{nj}, \sum_{j=1}^n u_{nj}) \end{bmatrix}$$

En virtud de que la suma de números triangulares difusos es cerrada.

(2) Se normaliza el vector fila de números difusos RS para obtener un vector simplificado S:

$$\tilde{S} = \begin{bmatrix} \tilde{s}_1 \\ \tilde{s}_2 \\ \vdots \\ \tilde{s}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rs_1 \otimes (\sum_{j=1}^n rs_j)^{-1} \\ rs_2 \otimes (\sum_{j=1}^n rs_j)^{-1} \\ \vdots \\ rs_n \otimes (\sum_{j=1}^n rs_j)^{-1} \end{bmatrix}$$

Donde $(\sum_{j=1}^n rs_j)^{-1}$ es derivada de de RS y es calculada por:

$$(\sum_{j=1}^n rs_j)^{-1} = (\frac{1}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n u_{kj}}, \frac{1}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n m_{kj}}, \frac{1}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n l_{kj}})$$

Esto es, se lleva a cabo una normalización de cada componente del número triangular difuso.

(3) Se determina el grado de posibilidades para obtener los valores no difusos del vector V:

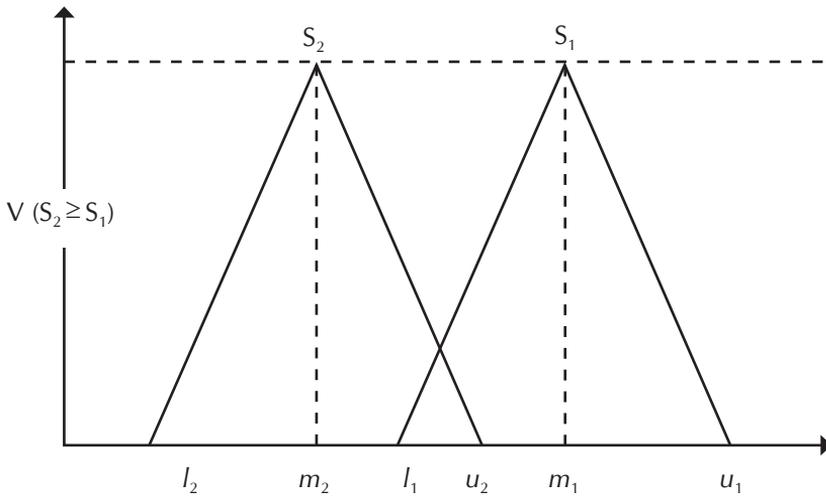
$$V = \begin{bmatrix} v1 \\ v2 \\ \vdots \\ vn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \min V (S_1 \geq S_k) \\ \min V (S_2 \geq S_k) \\ \vdots \\ \min V (S_n \geq S_k) \end{bmatrix}$$

Donde: S_k es el vector fila normalizado proveniente del paso (2).

El grado de posibilidades de $S_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq S_1 = (l_1, m_1, u_1)$ es obtenida por:

$$V(S_1 \geq S_2) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{de otra manera} \end{cases}$$

Tal y como se representa en la siguiente figura:



(4) Finalmente, se determina la normalización final de los valores no difusos del vector W:

$$W = \begin{bmatrix} w1 \\ w2 \\ \vdots \\ wn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 / \sum_{i=1}^n v_i \\ v_2 / \sum_{i=1}^n v_i \\ \vdots \\ v_n / \sum_{i=1}^n v_i \end{bmatrix}$$

En la cual se establece la jerarquización final de las alternativas.

3. Escenarios resultantes de la aplicación de PJA en análisis cualitativos

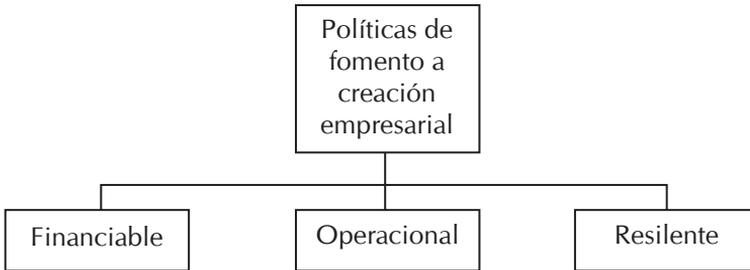
175

Se ha puesto en evidencia anteriormente como los modelos basados en PJA permiten solventar problemas de decisiones con objetivos, criterios y alternativas múltiples. Para llevar a cabo la presente investigación, se programaron algoritmos computacionales que permiten aplicar la metodología de Chang para la simulación de escenarios de decisión y análisis de sensibilidad del vector W de jerarquización de alternativas (Apéndices A y B²).

En esta investigación se tuvo como objetivo la evaluación de requisitos esperados de políticas de fomento a la creación de nuevas empresas. El modelo fue aplicado al nivel directivo de las incubadoras universitarias del IPN, UNAM e ITESM, estableciendo tres criterios como requisitos esperados en torno a las políticas gubernamentales mencionadas (Figura 4).

² El Apéndice B consiste en el algoritmo correspondiente a PJA cuando las entradas de la matriz de juicios están constituidas por reales triangulares difusos.

Figura 4
Para ser considerada, toda alternativa en pro del objetivo debe cumplir con los criterios de ser financierable, operacional y resiliente³.

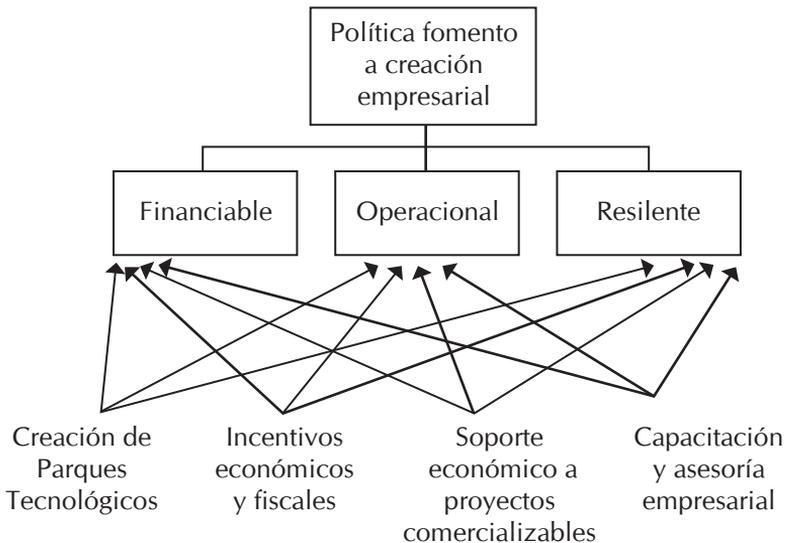


176

Por lo que corresponde a las alternativas, entre las variantes desarrolladas en esta investigación fue seleccionada aquélla que representa integralmente el grafo múltiple, es decir, el esquema de nodos interrelacionados. Con un nodo representado por cada criterio. En la figura 5 se esquematiza dicha selección.

Figura 5
Definición de alternativas

Procesos de Jerarquización Analítica



³ El criterio *Financiable* hace referencia a que se cuente con recursos financieros para llevar a cabo la alternativa referente. El criterio *Operacional* se documentó en términos de la factibilidad de que la alternativa sea operada adecuadamente con los recursos humanos y materiales existentes. El criterio *Resiliente* se concibe en términos de la vulnerabilidad de cada alternativa ante alteraciones del entorno organizacional (reestructuraciones, cambios de gestión, fusiones empresariales, etc.).

Con la finalidad de aplicar una versión del modelo PJA de Chang que comprenda en la matriz de juicios valoraciones triangulares difusas con $\Delta = 0$, se llevó a cabo el proceso de comparación por pares (*pairwise comparisson*), y de manera subsiguiente las normalizaciones correspondientes para calcular los productos matriciales que dan lugar al vector transpuesto Wt de jerarquización de alternativas. Las tablas 2 y 3, así como las figura 6, 7 y 8 exhiben el esquema de resultados.

Tabla 2
Las entradas de la Matriz de Juicios Comparativos resumen las valoraciones de la relevancia relativa de las alternativas del esquema seleccionado

Matriz de Juicios Comparativos

		1	2	3	4
		Creación de Parques Tecnológicos	Incentivos Económicos y Fiscales a emprendedores	Soporte económico a Proyectos comercializables	Capacitación y asesoría empresarial
1	Creación de Parques Tecnológicos	1	0.5	0.2	0.14
2	Incentivos Económicos y Fiscales a emprendedores	2	1	3	0.3
3	Soporte económico a Proyectos comercializables	5	0.333333333	1	0.2
4	Capacitación y asesoría empresarial	7	3	5	1

El modelo PJA mostrado en la figura 5 fue aplicado a expertos en fomento a creación empresarial de las incubadoras universitarias del IPN, UNAM e ITESM. Con la finalidad de identificar los requisitos esperados de políticas públicas de fomento a la creación de nuevas empresas. Se realizaron las comparaciones por pares incluidas en el Apéndice C, de modo tal que con los juicios cualitativos de cada evaluador se conformaron cuatro matrices cuyos vectores transpuestos Wt de jerarquización de alternativas establecen mayor importancia estratégica para políticas de fomento a creación de empresas de acuerdo a los siguientes resultados:

Figura 6
 Cuantificación del análisis cualitativo en torno a políticas de fomento a la creación de empresas (IPN)

178

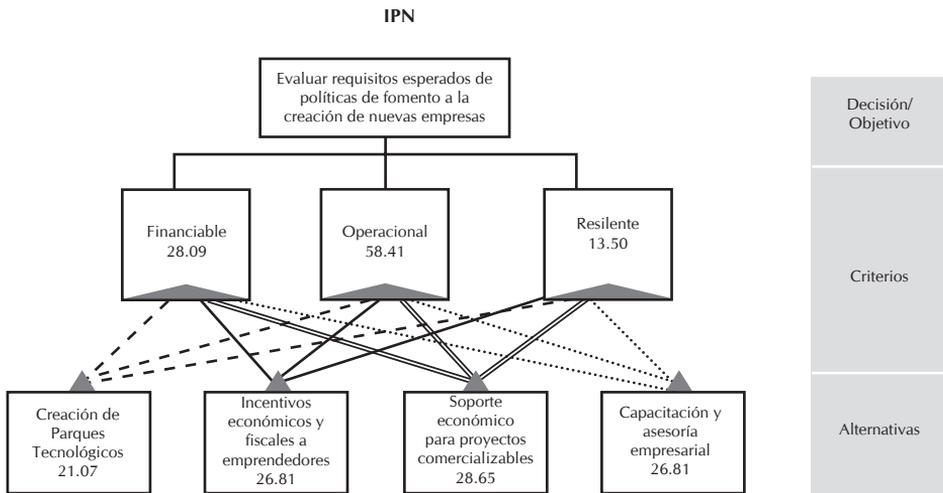


Figura 7
 Cuantificación del análisis cualitativo en torno a políticas de fomento a la creación de empresas (UNAM)

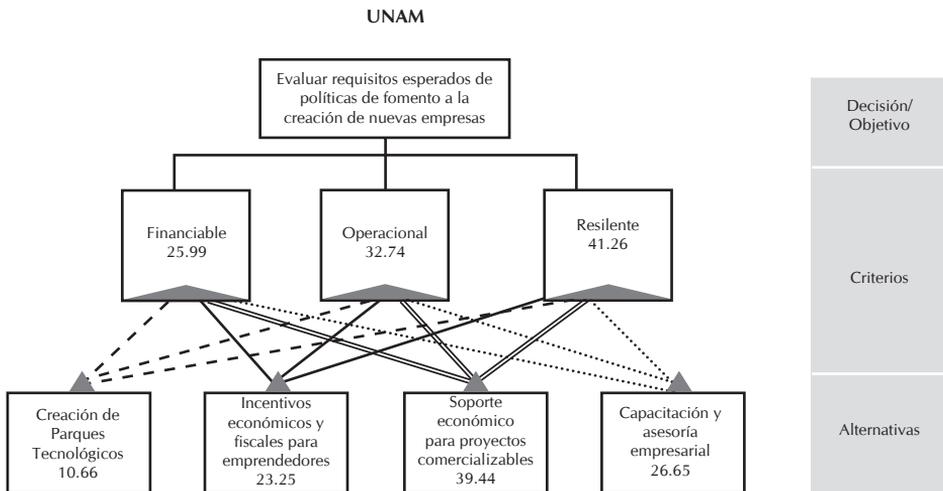


Figura 8
 Cuantificación del análisis cualitativo en torno a políticas de fomento a la creación de empresas (ITESM)

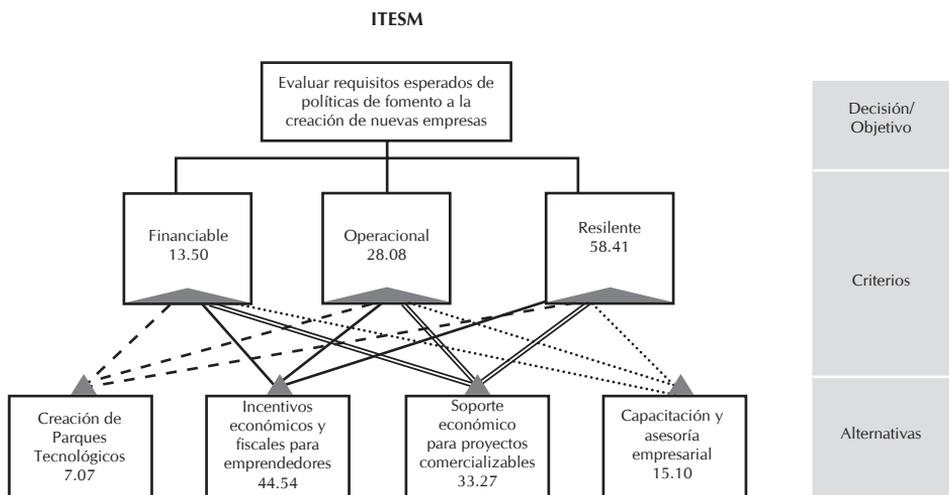


Figura 3
 Valores de Priorización global de criterios y alternativas del modelo PJA aplicado
 Concentrado de cuantificación de análisis cualitativos

Categorías	Creación	IPN	UNAM	ITESM	Promedio Nacional	Alternativas				
						IPN	UNAM	ITESM	Promedio Nacional	
Características esperadas de políticas de fomento a la creación de nuevas empresas	Financiable	28.09	25.99	13.5	22.53	Creación de Parques Tecnológicos	21.07	10.66	7.07	12.93
	Operacional	58.41	32.74	28.78	39.74	Incentivos económicos y fiscales a emprendedores	26.81	23.25	44.54	31.53
	Resiliente	13.5	41.26	58.41	37.72	Soporte económico para proyectos comercializables	28.65	39.44	33.27	33.79
						Capacitación y asesoría empresarial	26.81	26.65	15.1	22.85

Para poder tomar decisiones una vez que se tienen las priorizaciones, se consideran de mayor importancia, aquellas cuyo valor de ponderación es más alto. El modelo aplicado muestra que el criterio “Resiliente” es más importante; así mismo la alternativa prioritaria es el soporte económico para proyectos comercializables.

4. Conclusiones

El análisis cualitativo es un proceso eminentemente complejo que, por lo general, trae consigo consecuencias significativas en torno a la viabilidad de la organización, con la respectiva toma de decisiones que conlleva.

Por ello, la construcción de escenarios que contemplen el análisis combinatorio con objetivos, criterios y alternativas múltiples, es fundamental para que los planes y programas de desarrollo estratégico tengan un fundamento sólido.

Esta investigación aporta evidencia sobre la ventaja metodológica que representa el proceso de jerarquización de acciones alternativas fundamentado en el análisis matemático. Los resultados de los escenarios presentados aquí, exhiben como el Proceso de Jerarquización Analítica (PJA) constituye hoy en día un valioso recurso para resolver escenarios que comprenden multiplicidad y complejidad de las relaciones de las variables cualitativas y cuantitativas que intervienen en el análisis organizacional.

Bibliografía

- Barba-Romero, S. (1996), *Manual para la toma de decisiones multicriterio*. Santiago de Chile: Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social - ILPES.
- Chang, D, (1996), "Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP", *Journal of European Operational Research*, 95, pp. 649 - 655.
- Chee Yew Wong (2009), "Explaining the competitive advantage of logistics service providers: A resource-based view approach", *Journal of International Production Economics*, 128, pp. 51 -67.
- Kwong, C, (2002), "A fuzzy AHP approach to the determination of importance weights of customer requirements in quality function deployment", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13, pp. 367 - 377.
- Metin, C, (2007), "Application of fuzzy extended AHP methodology on shipping registry selection: The case of Turkish maritime industry", *Expert Systems with Applications*, 36, pp. 190 -198.
- Mikhailov, L, (2003), "Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process", *Applied Soft Computing*, 5, pp. 23 - 33.
- Osorio, J. C., & Orejuela, J. P. (2008), "El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación". *Scientia et Technica*, p.p. 247-252.
- Pacheco, J. F., & Contreras, E. (2008), *Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Pi - Fang Hsu, (2008), "Optimizing resource-based allocation for senior citizen housing to ensure a competitive advantage using the analytic hierarchy process", *Building and Environment*, 43, pp 90 - 97.
- Piñeiro, C. (2003), "La evaluación de inversiones en tecnologías de la información. Aplicaciones a la teoría de la decisión multicriterio". *Revista Galega de Economía*, p.p. 1-18.

Ramírez, M. L. (2004), "El método de jerarquías analíticas de Saaty en la ponderación de variables. Aplicación al nivel de mortalidad y morbilidad en la provincia del chaco". *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, p.p. 1-4.

Saaty, T. (1977), "A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures". *Journal of Mathematical Psychology*, p.p. 234-281.

Apéndice A

Programación del algoritmo de consistencia en procesos de jerarquización analítica

```
function [ CR ] = ConsistencyAHP( CompMat )
%CONSISTENCYAHP AHP Consistency Analysis
% Calculates the quality level of a decision
% using Consistency Ratio
% Random Consistency Index
RI = [0 0 0.58 0.9 1.12 1.24 1.32 1.41 1.45 1.49];
%%
[W lambda] = eig(CompMat);
[m n] = size(CompMat);
lambdaMax = max(max(lambda));
% Consistency index calculation
CI = (lambdaMax - n)/(n-1);
% Consistency Ratio
CR = CI/RI(1,n);
if CR > 0.10
str = 'CR is %% %1.2f. Subjective evaluation is NOT consistent!!!';
str = sprintf(str,CR);
disp(str);
end
end
```

Apéndice B

Programación del Algoritmo de cálculo del vector transpuesto wt de jerarquización analítica

```

function [ weights CompMat fuzzyTFN ] = FuzzyAHP( CompMat )
%FUZZYAHP Fuzzy AHP
% Fuzzy AHP selection algorithm
% fuzzy tfn and inverse fuzzy tfn constants
fuzzyTFN = {[1 1 1 ] [1 1 1 ]
[1/2 3/4 1 ] [1 4/3 2 ]
[2/3 1 3/2] [2/3 1 3/2]
[1 3/2 2 ] [1/2 2/3 1 ]
[3/2 2 5/2] [2/5 1/2 2/3]
[2 5/2 3 ] [1/3 2/5 1/2]
[5/2 3 7/2] [2/7 1/3 2/5]
[3 7/2 4 ] [1/4 2/7 1/3]
[7/2 4 9/2] [2/9 1/4 2/7]};
fuzzyCompMatCell = {};
%%
% convert ordinal numbers to
% triangular fuzzy number using fuzzyTFN matrix
[m n] = size(CompMat);
for i = 1:m
for j = i + 1:m
CompMat(j,i) = 1 / CompMat(i,j);
end
end
for i = 1:m
for j = 1:n
criteria = CompMat(i,j);
if criteria >= 1
fuzzyCompMatCell{i,j} = fuzzyTFN{ criteria ,1 };
else
fuzzyCompMatCell{i,j} = fuzzyTFN{ round(criteria^-1) ,2 };
end
%%
% find sum of every l,m,u values for triangular fuzzy number
for i = 1:m
vec = [fuzzyCompMatCell{i,:}];
mExtendAnalysis{1,i} = sum(reshape(vec,3,[])^);
end

```

Apéndice C Comparación por pares de análisis cualitativo aplicado en el modelo PJA

Evaluación de criterios

Comparación de criterios																						
Alternativa ↓ vs.	←										=	→										Alternativa ↓
Financiable	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Operacional				
Financiable	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Resilente				
Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Resilente				

185

Evaluación de alternativas en referencia a cada criterio

Comparación de alternativas respecto al criterio "Financiable"																						
Alternativa ↓ vs.	←										=	→										Alternativa ↓
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas				
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Soporte económico para proyectos comercializables				
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				
Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Soporte económico para proyectos comercializables				
Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				
Soporte económico para proyectos comercializables	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				

Comparación de alternativas respecto al criterio "Operacional"																						
Alternativa ↓ vs.	←										=	→										Alternativa ↓
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas				
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Soporte económico para proyectos comercializables				
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				
Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Soporte económico para proyectos comercializables				
Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				
Soporte económico para proyectos comercializables	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				

Comparación de alternativas respecto al criterio "Resiliente"																						
Alternativa ↓ vs.	←										=	→										Alternativa ↓
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas				
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Soporte económico para proyectos comercializables				
Creación de Parques Tecnológicos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				
Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Soporte económico para proyectos comercializables				
Incentivos económicos y fiscales para creación de empresas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				
Soporte económico para proyectos comercializables	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Capacitación y asesoría empresarial				